

Aus dem Institut für Klinische Neurowissenschaften und Medizinische Psychologie
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Direktor: Univ.-Prof. Dr. Alfons Schnitzler

Systematische Übersichtsarbeit und Metaanalyse zur Händigkeit beim Musikerkrampf

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin der Medizinischen Fakultät
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Soumaya Ouennane

2025

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Prof. Dr. rer. nat. Markus Butz

Zweitgutachter: Prof. Dr. med. Michael Bernhard

Teile dieser Arbeit wurden als Abstracts veröffentlicht:

S. Ouennane, S. Alici, M. Tiihonen, M. Butz. *Zusammenhang zwischen Händigkeit und Prävalenz des Musikerkrampfes*. DGN-Kongress 2022. Abstractnr. 565.

S. Ouennane, S. Alici, M. Tiihonen, M. Butz. *The Link between Handedness and Prevalence of Musician's Dystonia – A Systematic Literature Review* [abstract]. *Mov Disord.* 2023; 38 (suppl1). <https://www.mdsabstracts.org/abstract/the-link-between-handedness-and-prevalence-of-musicians-dystonia-a-systematic-literature-review/>.

Zusammenfassung

Der Musikerkrampf ist eine Form der fokalen aktionsinduzierten Dystonie und führt bei den betroffenen Musikern beim Spielen eines Instruments zu Muskelkrämpfen und zum Verlust der Willkürmotorik. Interessanterweise wurde bei der fokalen Dystonie festgestellt, dass trotz unilateraler Symptomatik beide Gehirnhemisphären pathophysiologische Veränderungen aufweisen. So kann vermutet werden, dass ursächlich eine Veränderung der interhemisphärischen Interaktion vorliegen könnte. Die Händigkeit stellt ein Abbild der Hirnlateralisierung dar und wurde zuvor im Zusammenhang mit dem Musikerkrampf noch nicht untersucht. Bereits bekannt ist, dass gesunde Rechtshänder und Männer eine stärkere Lateralisierung aufweisen als Nicht-Rechtshänder und Frauen. Daher wurde in der vorliegenden Arbeit die Hypothese untersucht, ob die Händigkeitsverteilung beim Musikerkrampf im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung und zu den gesunden Musikern, aufgrund der veränderten interhemisphärischen Interaktion, beim Musikerkrampf zugunsten der Rechtshänder verschoben ist. Dies würde bei Patienten mit Musikerkrampf im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung und zu gesunden Musikern einen höheren Anteil an Rechtshändern und einen geringeren Anteil an Linkshändern bedeuten.

Mit Hilfe einer systematischen Literaturrecherche in der medizinischen Datenbank *PubMed* wurden 1156 Artikel zur fokalen Dystonie der Hand ermittelt. Diese Artikel wurden mittels *Covidence* hauptsächlich nach Händigkeit und anderen epidemiologischen Daten wie Geschlecht, Erkrankungsalter und betroffener Hand analysiert. Um die Patientenpopulation statistisch mit gesunden Musikern und der Allgemeinbevölkerung zu vergleichen, wurden der Chi-Quadrat-Anpassungstest und Kreuztabellen verwendet.

Es wurden 90 Artikel inkludiert und daraus ergaben sich 762 Patientenfälle mit Musikerkrampf. Von den 762 Patienten waren 698 (91,6%) Rechtshänder und 64 (8,4%) waren Nicht-Rechtshänder. Dies wurde verglichen mit 87,8% rechtshändigen und 12,2% nicht-rechtshändigen gesunden Musikern (Chi-Quadrat-test $X^2 = 10,28$; $df = 1$; $p = 0,001$). Zudem auch mit 89,4% Rechtshändern und 10,6% Nicht-Rechtshändern der Allgemeinbevölkerung (Chi-Quadrat-test $X^2 = 3,90$; $df = 1$; $p = 0,048$). Das mittlere Erkrankungsalter der Patienten betrug 35 ± 10 Jahre. Die Geschlechterverteilung zeigte eine deutliche Mehrheit mit 534 (74,3%) betroffenen männlichen Patienten, während nur 185 (25,7%) weibliche Patientinnen betroffen waren.

Diese Ergebnisse zur Händigkeitsverteilung bei Patienten mit Musikerkrampf zeigen erstmals eine abweichende Verteilung der Händigkeit im Vergleich zu gesunden Musikern und der Allgemeinbevölkerung. Das Ergebnis kann ein Hinweis dafür sein, dass beim Musikerkrampf eine veränderte interhemisphärische Interaktion vorliegt.

Summary

Musician's dystonia is a form of focal task-specific dystonia and leads to muscle spasms and loss of voluntary motor function in affected musicians when playing an instrument. Interestingly, in focal dystonia, it was found that despite unilateral symptoms, both cerebral hemispheres of the brain reveal pathophysiological alterations. Thus, it can be assumed that the cause could be an altered inter-hemispheric interaction. Handedness is a representation of brain lateralization and has not been studied in connection with musician's dystonia yet. What is already known is that healthy right-handed persons and males show stronger lateralization than non-right-handed persons and females. Therefore, this study investigated the hypothesis that the distribution of handedness in musician's dystonia is shifted in favor of right-handedness compared to the general population and healthy musicians due to the altered inter-hemispheric interaction. This would mean a higher proportion of right-handers and a lower proportion of left-handers in patients with musician's dystonia compared to the general population and healthy musicians.

A systematic literature search about focal hand dystonia on the medical database *PubMed* was performed and resulted in 1156 articles. The detected articles were screened using *Covidence* and data on handedness and epidemiological information on sex, age of onset, and affected hand was extracted. Chi-square-goodness-of-fit tests and cross tabulations were conducted in the statistical analysis to compare the patient population with healthy musicians and the general population.

762 patient cases with musician's dystonia were extracted from the 90 included articles. Of the 762 patients, 698 (91,6%) were right-handed and 64 (8,4%) were non-right handed. This was compared to 87,8% right-handed and 12,2% non-right handed healthy musicians (Chi-square-test $X^2 = 10,28$; $df = 1$; $p = 0,001$). Besides, it was compared to 89,4% right-hander and 10,6% non-right-hander in the general population (Chi-square-test $X^2 = 3,90$; $df = 1$; $p = 0,048$). The mean age of onset of the patients was 35 ± 10 years. The gender distribution showed a clear majority of male patients with 534 (74,3%) with only 185 (25,7%) female patients affected.

These results on the distribution of handedness in patients with musician's dystonia reveal a deviating distribution of handedness compared to healthy musicians and the general population. The result may indicate that there is an altered interhemispheric interaction in patients with musician's dystonia.

Abkürzungsverzeichnis

CIMT	Eingeschränkte Bewegungstherapie (engl. <i>Constraint-Induced Movement Therapy</i>)
EHI	Edinburgh Händigkeitinventar (engl. <i>Edinburgh Handedness Inventory</i>)
EMG	Elektromyographie
FCA	Funktionale zerebrale Asymmetrie (engl. <i>functional cerebral asymmetry</i>)
GABA	Gamma-Aminobuttersäure (engl. <i>gamma-aminobutyric acid</i>)
IHTT	Interhemisphärische Übertragungszeit (engl. <i>Interhemispheric transfer time</i>)
MRT	Magnetresonanztomographie
NRCT	Nicht-randomisiert kontrollierte Studie (engl. <i>non-randomized controlled trial</i>)
SEP	Somatosensibel Evozierte Potenziale
SMR	Sensorisch motorische Neueinstellung (engl. <i>sensory motor retuning</i>)
tDCS	Transkranielle Gleichstromstimulation (engl. <i>transcranial direct current stimulation</i>)
THS	Tiefe Hirnstimulation (engl. <i>Deep Brain Stimulation, DBS</i>)
TMS	Transkranielle Magnetstimulation
RCT	Randomisiert-kontrollierte Studie (engl. <i>Randomized controlled trial</i>)

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	DYSTONIE	1
1.1.1	<i>Definition der Dystonie</i>	1
1.1.2	<i>Klassifikation der Dystonie</i>	2
1.2	MUSIKERKRAMPF	3
1.2.1	<i>Definition</i>	3
1.2.2	<i>Epidemiologie</i>	4
1.2.3	<i>Pathophysiologie</i>	4
1.2.4	<i>Klinik</i>	8
1.2.5	<i>Diagnostik</i>	9
1.2.6	<i>Therapie</i>	9
1.3	HÄNDIGKEIT	13
1.3.1	<i>Definition</i>	13
1.3.2	<i>Händigkeitverteilung in der Allgemeinbevölkerung</i>	14
1.3.3	<i>Händigkeitverteilung bei gesunden Musikern</i>	15
1.4	CORPUS CALLOSUM UND INTERHEMISPHERISCHE INTERAKTION	15
1.5	HIRNLATERALISIERUNG	16
1.5.1	<i>Händigkeit und Hirnlateralisierung</i>	17
1.5.2	<i>Geschlecht und Hirnlateralisierung</i>	18
1.6	ZIELE DER ARBEIT UND ARBEITSHYPOTHESE	19
2	METHODEN	20
2.1	ÜBERBLICK - SYSTEMATISCHE ÜBERSICHTSARBEIT UND METAANALYSE	20
2.2	VORANMELDUNG DER ARBEIT	21
2.3	EINSCHLUSS- UND AUSSCHLUSSKRITERIEN	21
2.4	LITERATURRECHERCHE	22
2.4.1	<i>Suchbegriff</i>	22
2.4.2	<i>Systematische Literaturrecherche</i>	22
2.5	DATENEXTRAKTION	26
2.6	STATISTISCHE DATENAUSWERTUNG	26
2.6.1	<i>Händigkeit</i>	26
2.6.2	<i>Geschlecht</i>	27
2.6.3	<i>Erkrankungsalter</i>	27
2.6.4	<i>Instrumentenverteilung</i>	28
2.6.5	<i>Vergleich Händigkeit und Geschlecht</i>	28
2.6.6	<i>Vergleich Händigkeit und betroffene Hand</i>	28
2.6.7	<i>Vergleich Händigkeit und Instrument</i>	28

3	ERGEBNISSE	29
3.1	HÄNDIGKEIT	29
3.1.1	<i>Händigkeitsverteilung Musikerkrampf</i>	29
3.1.2	<i>Händigkeitsverteilung im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung</i>	29
3.1.3	<i>Händigkeitsverteilung im Vergleich zu gesunden Musikern</i>	30
3.2	GESCHLECHT	31
3.2.1	<i>Geschlechterverteilung Musikerkrampf</i>	31
3.2.2	<i>Geschlechterverteilung im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung</i>	31
3.2.3	<i>Geschlechterverteilung im Vergleich zu gesunden Musikern</i>	32
3.3	ERKRANKUNGSALTER MUSIKERKRAMPF	33
3.4	INSTRUMENTENVERTEILUNG MUSIKERKRAMPF	33
3.5	ZUSAMMENHANG DER HÄNDIGKEIT UND DES GESCHLECHTES	34
3.6	ZUSAMMENHANG DER HÄNDIGKEIT UND DER BETROFFENEN HAND	35
3.7	ZUSAMMENHANG DER HÄNDIGKEIT UND DER INSTRUMENTENVERTEILUNG	35
4	DISKUSSION	36
4.1	HÄNDIGKEIT	36
4.2	PATHOPHYSIOLOGIE	39
4.3	GESCHLECHTERVERTEILUNG	40
4.4	ERKRANKUNGSALTER	42
4.5	INSTRUMENTENVERTEILUNG	43
4.6	VERGLEICH MUSIKERKRAMPF UND SCHREIBKRAMPF	43
4.7	LIMITATIONEN DER ARBEIT	44
4.8	AUSBlick	46
4.9	Schlussfolgerung	47
5	LITERATURVERZEICHNIS	48
6	ANHANG	61

1 Einleitung

Der Musikerkrampf ist eine seltene neurologische Erkrankung und gehört zu der Gruppe der fokalen aktionsinduzierten Dystonien. Die betroffenen Musiker entwickeln während des Spielens eines Instruments Muskelkrämpfe in der Hand und erleiden hierdurch einen Verlust der Willkürmotorik (Altenmüller und Jabusch, 2010). Ungefähr 1% der professionellen Musiker entwickeln im Verlaufe ihrer Karriere einen Musikerkrampf (Altenmüller, 2003) und die Erkrankung führt in den meisten Fällen zum Ende der Berufsausübung (Frucht, 2004). Die Pathophysiologie des Musikerkrampfes ist noch nicht vollständig geklärt. Der Verlust der zentralen Inhibition, die abnorme Plastizität oder die abnorme sensorische Funktion sind einige pathophysiologische Erklärungsansätze (Chang und Frucht, 2013). Trotz vorhandener Therapiemöglichkeiten, wie der Therapie mit Botulinumtoxin, ist der Musikerkrampf nach aktuellem Forschungsstand nicht heilbar. Allerdings ist es möglich die Symptome zu lindern (Chang und Frucht, 2013).

1.1 Dystonie

1.1.1 Definition der Dystonie

Die Dystonie stellt die dritthäufigste Bewegungsstörung nach dem *Morbus Parkinson* und dem essenziellen Tremor dar (Grütz und Klein, 2021). Hermann Oppenheim, ein deutscher Neurologe, beschrieb 1911 erstmals den Begriff der Dystonie als *Dystonia musculorum deformans*, welcher er damaligen anderen Bewegungsstörungen nicht zuordnen konnte (Oppenheim, 1911; Klein und Fahn, 2013). Oppenheim beschrieb in seiner Arbeit Patienten, die schnelle und rhythmische Muskelkrämpfe und Bewegungen aufwiesen. Der Muskeltonus fluktuierte von hypoton zu tonisch (Oppenheim, 1911; Klein und Fahn, 2013). Der Begriff der Dystonie wurde in den folgenden Jahrzehnten fortlaufend weiterentwickelt und erneuert. So wurde 1984 von der *Dystonia Medical Research Foundation* folgende Definition aufgestellt: “*Dystonia is a syndrome of sustained muscle contractions, frequently causing twisting and repetitive movements, or abnormal postures*” (Fahn et al., 1987). Albanese et al. erweiterten diese Definition 2013 um folgende: “*Dystonia is a movement disorder characterized by sustained or intermittent muscle contractions causing abnormal, often repetitive, movements, postures, or both. Dystonic movements are typically patterned, twisting, and may be tremulous. Dystonia is often initiated or worsened by voluntary action and associated with overflow muscle activation.*” (Albanese et al., 2013). Heutzutage ist es möglich die Dystonie spezifischer zu klassifizieren. Dies wird im Folgenden durch das Klassifikationsschema von Albanese et al. (2013) erläutert.

1.1.2 Klassifikation der Dystonie

Die Dystonie wird in zwei Achsen klassifiziert. Die erste Achse definiert die klinischen Charakteristika und die zweite Achse die Ätiologie der Dystonie. Die erste Achse wird eingeteilt nach dem Erkrankungsalter (Säuglingsalter, Kindesalter, Adoleszenz, frühes und spätes Erwachsenenalter), dem Verteilungsmuster (fokal, segmental, multifokal, generalisiert oder der Hemidystonie) und dem zeitlichen Muster (persistent, aktionsinduziert, im Tagesverlauf schwankend, anfallsartig). Zudem gibt es noch die Einteilung in die isolierte und kombinierte Dystonie. Bei der isolierten Dystonie ist die Dystonie die alleinige Erkrankung und bei der kombinierten Dystonie tritt die Dystonie kombiniert mit anderen Bewegungsstörungen wie zum Beispiel dem *Morbus Parkinson* oder einer Myoklonie auf (Albanese et al., 2013).

Das Verteilungsmuster wird wie folgt definiert: Bei der fokalen Dystonie ist nur eine Körperregion betroffen. Die segmentale Dystonie betrifft zwei oder mehr Körperregionen. Bei der multifokalen Dystonie sind es zwei nicht zusammenhängende Körperregionen. Bei der generalisierten Form ist der Rumpf und mindestens zwei andere Körperregionen involviert. Bei der Hemidystonie ist eine Körperhälfte betroffen (Albanese et al., 2013).

Die zweite Achse umfasst die zugrundeliegende Ätiologie und unterscheidet zwischen der Anatomie und dem Vererbungsmuster. Unter der anatomischen Ätiologie wird unterschieden zwischen degenerativen und nicht-degenerativen Läsionen. Unter der Komponente der Vererbung wird unterschieden zwischen einer hereditären, erworbenen und idiopathischen Ursache (Albanese et al., 2013).

In dieser Arbeit und im Folgenden geht es um eine spezielle Form der fokal-aktionsinduzierten Dystonie, den Musikerkrampf.

1.2 Musikerkrampf

1.2.1 Definition

Der Musikerkrampf gehört zu der zweithäufigsten Form der fokalen aktionsinduzierten Dystonie. Synonyme Begriffe, die für den Musikerkrampf verwendet werden, sind unter anderem die Musikerdystonie oder die fokale Dystonie bei Musikern (Altenmüller et al., 2010). Der erste Patienteneintrag des Musikerkrampfes stellte der deutsche Musiker Robert Schumann (siehe Abb.1), Ehemann von Clara Schumann, 1830 dar, der auch eine Zeit lang als städtischer Musikdirektor in Düsseldorf wirkte (Chang und Frucht, 2013). Beim Musikerkrampf handelt es sich um eine Form der tätigkeitsspezifischen Bewegungsstörung, die beim Spielen eines Instruments bei Musikern auftritt. Dabei kommt es zu einer muskulären Inkoordination und Verlust der Willkürmotorik (Altenmüller, 2003). Man unterscheidet beim Musikerkrampf einmal die fokale Handdystonie und die orofasziale Dystonie. Die orofasziale Dystonie kann bei Musikern auftreten, die ein Holzblas- oder Blechblasinstrument spielen. Diese kann die untere Gesichtspartie, Zunge, Kiefer oder den Pharynx betreffen (Frucht, 2016). Während bei der Dystonie bei Pianisten oder Geigern die Finger, die Hand oder der Arm betroffen sein kann (Altenmüller et al., 2010).

In der hier vorliegenden Arbeit geht es ausschließlich um die fokale Handdystonie bei Musikern.



Abb. 1: Robert Schumann. Lithografie, Wien 1839, Joseph Kriehuber (Quelle: Nervenarzt 2017 von R. Steinberg und mit zusätzlich freundlicher Genehmigung des Robert-Schumann-Haus Zwickau).

1.2.2 Epidemiologie

Der Musikerkrampf stellt die häufigste berufsbedingte Erkrankung unter Musikern dar (Jankovic und Ashoori, 2008). Schätzungsweise entwickeln 1% der Profimusiker eine fokale Dystonie der Hand (Altenmüller, 2003). Für die meisten Patienten bedeutet dies das Ende ihrer professionellen Musikerkarriere und damit ihres erlernten Berufes (Frucht, 2004). Vergleicht man den Musikerkrampf mit anderen Formen der Dystonie wie dem Schreibkrampf oder dem *Yips* (= Dystonie bei Golfspielern), haben klassische Musiker das höchste Risiko eine fokale Dystonie zu entwickeln (Frucht, 2009).

Männliche Musiker sind häufiger vom Musikerkrampf betroffen als weibliche Musikerinnen. In der Studie von Lim et al. zeigte sich ein Verhältnis von 6:1 (Männer:Frauen) (Lim et al., 2003). Das mittlere Erkrankungsalter beträgt 36 Jahre und erstreckt sich auf ein Erkrankungsalter zwischen 16 bis 75 Jahren (Conti et al., 2008). Zudem wurde festgestellt, dass Musiker, die nach dem zehnten Lebensjahr anfangen zu musizieren, ein höheres Risiko haben einen Musikerkrampf zu entwickeln als Musiker, die vor ihrem 10. Lebensjahr zu musizieren begannen (Schmidt et al., 2013).

Betrachtet man die Instrumentengruppe ohne den Zusammenhang zum Geschlecht sind Musiker, die ein Tasteninstrument oder ein Holzblasinstrument spielen, am häufigsten vom Musikerkrampf betroffen. Von den 183 untersuchten professionellen Musikern, die einen Musikerkrampf haben, spielten 54 Patienten (29,5%) ein Tasteninstrument und 42 Patienten (22,95%) ein Holzblasinstrument (Lim et al., 2003). In Zusammenschau zwischen den Instrumentengruppen und dem Geschlecht wurde jedoch festgestellt, dass männliche Musiker, die ein Tasten-, Streich-, Holzblas- und Zupfinstrument spielen, häufiger betroffen sind als weibliche Musikerinnen, die ebenfalls diese Instrumente spielen. Eine Ausnahme bildeten Musiker, die ein Blechblasinstrument spielen. Bei ihnen zeigte sich kein Zusammenhang zwischen dem gespielten Instrument und dem Geschlecht (Lim et al., 2003).

1.2.3 Pathophysiologie

Die Pathophysiologie des Musikerkrampfes ist noch nicht vollständig verstanden. Es gibt jedoch einige pathophysiologische Erklärungsansätze, die die Ursache des Musikerkrampfes erklären könnten.

Dazu gehören der Verlust der zentralen Inhibition bzw. eine abnormale Plastizität in Kombination mit einer abnormen sensorischen Funktion. Diese sollen im Folgenden näher ausgeführt werden.

Verlust der zentralen Inhibition

In Untersuchungen, in der die transkranielle Magnetstimulation (TMS) genutzt wurde, wurde ein Verlust von zerebellärer bis kortikaler Inhibition bei Musikerkrampfpatienten festgestellt (Chang und Frucht, 2013). Der Neurotransmitter γ -Aminobuttersäure (engl: *gamma-aminobutyric acid*, kurz: GABA) ist ein wichtiger Bestandteil des zentralen Nervensystems, welcher eine inhibitorische Wirkung zeigt und in der Basalganglienschleife bei Bewegungsabläufen im Gegensatz zum exzitatorisch wirkenden Glutamat Bewegungsabläufe hemmt (Petroff, 2002). Bei Schreibkrampfpatienten, ebenfalls eine Form der fokalen Dystonie, wurde eine reduzierte Menge an GABA festgestellt. Dabei wird angenommen, dass diese mangelhafte Inhibition in der Basalganglienschleife zu einer übermäßigen Aktivierung des sensorischen Kortex und somit zu einer abnormalen Kokontraktion zwischen agonistischen und antagonistischen Muskeln führt (Cohen and Hallett, 1988).

Eine weitere Form der Inhibition ist die sogenannte *surround inhibition* (deutsch: Umgebungshemmung), die bei Patienten mit fokaler Dystonie festgestellt wurde. Um das Ausführen von spezifischen Bewegungen zu gewährleisten, werden bei der Umgebungshemmung weitere ungewollte Bewegungen unterdrückt. Bei der Dystonie wird eine fehlerhafte Umgebungshemmung angenommen, bei der beim Ausführen einer speziellen Bewegung andere ungewollte Bewegungen nicht unterdrückt werden. Dadurch kommt es zu einem Übermaß an Bewegungen (Hallett, 2006). Hierbei geht man davon aus, dass die *surround inhibition* teilweise auf eine mangelhafte Inhibition durch lokale, GABA-vermittelte inhibitorische Interneuronen des primären motorischen Kortex zurückzuführen ist (Beck et al., 2008).

Abnormale Plastizität und abnorme sensorische Funktion

Bei diesem Erklärungsansatz ist die Idee, dass bei der fokalen Handdystonie der Abstand zwischen dem im sensorischen Homunculus repräsentierenden Fingerareale geringer ist als bei gesunden Probanden und es dadurch bei Aktivierung eines Fingers zur Koaktivierung weiterer Finger führt (Sadnicka et al., 2015). In weiteren Studien wurde gezeigt, dass die fingerrepräsentierenden Areale im motorischen und sensomotorischen Kortex im Gegensatz zu gesunden Probanden vergrößert sind und überlappen (Nelson et al., 2009; Elbert et al., 1998; Ejaz et al., 2015).

Zu der Pathophysiologie der fokalen Dystonie gehören neben der Beeinträchtigung der Motorik auch Abnormalitäten der sensorischen Funktion (Bara-Jimenez et al., 1998). In einigen Fällen wurde beobachtet, dass vor dem Auftreten der typischen motorischen Symptome, sensorische Symptome wie Schmerzen aufgetreten sind (Ghika et al., 1993). Byl et al. führten eine Studie

durch, bei der sie den Zusammenhang von repetitiven Bewegungen und kortikaler Plastizität im Tiermodell bei zwei Eulenaffen untersuchten. Dabei sollten diese durch monatelanges Training die Hände öffnen und schließen. Nach Monaten verschlechterte sich die motorische Leistung und sie entwickelten eine Bewegungsstörung. Es wurde eine Reorganisation im somatosensorischen Kortex im Handareal festgestellt. Es zeigte sich eine zehn- bis zwanzigfache Vergrößerung der rezeptiven Felder (Byl et al., 1996). Basierend auf dieser Studie stellten Bara-Jimenez und Kollegen die Hypothese auf, dass die Areale des somatosensorischen Kortex auch bei der Dystonie bei Menschen verändert sein könnten (Bara-Jimenez et al., 1998). Durch Messungen von somatosensibel evozierten Potenzialen (=SEP) wurden bei Dystonie-Patienten im Vergleich zu den gesunden Kontrollgruppen ebenfalls Abnormalitäten in der Repräsentation im somatosensorischen Kortex festgestellt. Dazu gehörte, dass die fingerrepräsentierenden Areale näher beieinander und desorganisiert waren (Bara-Jimenez et al., 1998).

In einigen Studien zeigte sich, dass eine Verbesserung der motorischen Symptomatik durch eine sensorische Stimulation durch den sogenannten sensorischen Trick (englisch: *sensory trick*, französisch: *geste antagoniste*), möglich ist. Dieser sensorische Trick wurde bei Patienten mit einer zervikalen Dystonie beobachtet. Die Dystonie-Symptomatik lässt sich hierbei durch Berührungen des Gesichtes kontralateral oder ipsilateral zur Kopfbewegung reduzieren (z.B. Schramm et al., 2004). Bei Musikerkrampfpatienten zeigte sich durch das Tragen von Latexhandschuhen während des Musizierens eine vorübergehende Besserung der Symptomatik (Altenmüller, 2003). Dies untersuchten ebenfalls Paulig et al. bei 30 Pianisten. Dabei zeigte sich bei sechs Patienten (19 %) eine signifikante Verbesserung der Motorik. Bei 29% zeigte sich eine Verschlechterung der Motorik und bei 52% kein signifikanter Effekt (Paulig et al., 2014).

Bilaterale pathophysiologische Veränderungen

Interessanterweise zeigte sich bei der fokalen Dystonie, dass trotz unilateraler Symptomatik beide Gehirnhemisphären betroffen sind (z.B. Meunier et al., 2001). Dies stellt einen sehr bedeutsamen Punkt dieser Arbeit dar und wurde in einigen Studien allgemein zum Schreibkrampf, welche eine Form der aktionsinduzierten Dystonie darstellt und ähnliche Symptomatik wie beim Musikerkrampf aufweist, aufgezeigt. Diese werden im Folgenden erläutert.

Meunier et al. untersuchten den Zusammenhang zwischen der betroffenen Hand und der kortikalen Organisation in beiden Gehirnhemisphären. Dazu untersuchten sie 23 rechtshändige Schreibkrampfpatienten, die in der rechten Hand vom Schreibkrampf betroffen sind. Es zeigte sich eine neben der Desorganisation im somatosensorischen Kortex der symptomatischen Hemisphäre auch eine Desorganisation in der nicht-symptomatischen Hemisphäre. Diese Abnormalität war im somatosensorischen Kortex der nicht-dominanten Hemisphäre stärker gegeben als in der dominanten Hemisphäre. Daher vermuten Meunier et al., dass die nicht-dominante Hemisphäre zuerst betroffen ist und dass die dominante Hemisphäre über eine interhemisphärische Verbindung gesteuert und beeinflusst wird (Meunier et al., 2001). Des Weiteren deuteten die Untersuchungen von Braun et al. an, dass die in ihrer Studie festgestellten Ergebnisse auf bilaterale Veränderungen im primär somatosensorischen Kortex bei einseitiger Symptomatik ein Hinweis dafür sein könnte, dass es eine Schwachstelle in der sensomotorischen Schleife gibt (Braun et al., 2003). Tempel und Perlmutter schauten sich mit Hilfe der Positronenemissionstomographie den zerebralen Blutfluss bei sensomotorischer Stimulation, in dem Falle bei vibrotaktile Stimulation, beim Schreibkrampf an und wiesen ebenfalls auf bilaterale zerebrale Abnormalitäten bei unilateraler Symptomatik hin (Tempel und Perlmutter, 1993). In einer weiteren Studie erwies sich bei der aktionsinduzierten Dystonie ein Ungleichgewicht von Erregung und Hemmung mit einer verkürzten Suppression einhergehend, die zu übermäßigen Bewegungen und Willkürmotorik führten. Dies wurde in beiden Hemisphären festgestellt (Ridding et al., 1995). Butz und Kollegen untersuchten die oszillatorischen Kopplungen im motorischen System bei Schreibkrampfpatienten und deuteten ebenfalls auf eine interhemisphärische Kopplung der beiden sensomotorischen Kortizes beim Schreibkrampf hin (Butz et al., 2006).

1.2.4 Klinik

Das Auftreten des Musikerkrampfes kann mit unterschiedlich prädisponierenden Faktoren assoziiert sein. Häufig ist das Auftreten der Symptomatik assoziiert mit intensivem musikalischen Training wie bei der Vorbereitung auf ein kompliziertes Stück oder bei einer anstrengenden Musiktournee (Tubiana, 2003). Andere prädisponierende Faktoren können auch schon vorhandene muskuläre Anomalien sein (Tubiana, 2003).

Weitere Risikofaktoren für das Auftreten des Musikerkrampfes sind genetische Einflussfaktoren, aber auch äußere Faktoren wie tätigkeitsspezifische und nicht-tätigkeitsspezifische Einflussfaktoren (Sadnicka et al., 2015). Zu den tätigkeitsspezifischen Faktoren gehören, dass klassische Musiker ein größeres Risiko besitzen eine Dystonie zu entwickeln als Musiker aus der Jazz- oder Rock-Szene. Die Ursache dafür könnte sein, dass klassische Musiker einem größeren Druck unterliegen nicht von ihrer Performance abzuweichen (Altenmüller et al., 2015). Bei den nicht-tätigkeitsspezifischen Faktoren wird vermutet, dass Musiker durch den Druck unter Angst und Perfektionismus leiden (Enders et al., 2011). Beim Musikerkrampf treten meistens keine Schmerzen auf. Durch repetitive Belastungen kann es zum Belastungssyndrom oder zum chronischen Erschöpfungssyndrom kommen. Infolgedessen zur symptomatischen Dystonie (Altenmüller, 2010). Bei einigen Patienten tritt der Verlust der Motorik nicht während des gesamten Musikspieles auf, sondern nur bei bestimmten Musikstücken, wo beispielsweise schnelle Fingerbewegungen gefordert sind (Sadnicka et al., 2015). Die Symptomatik kann sich in einigen Fällen auch auf die nicht-betroffene Hand übertragen. Dies wurde bei ungefähr drei Prozent der Musiker festgestellt (Albanese et al., 2015). Es zeigt sich außerdem ein Zusammenhang zwischen der Lokalisation der fokalen Dystonie und der Instrumentengruppe. Die stärker beanspruchte Hand ist die Hand, die am häufigsten betroffen ist. Die rechte Hand ist bei Tasteninstrumentenspielern und bei Zupfinstrumentenspielern häufiger betroffen (Altenmüller, 2010). Bei Musikern, die ein Streichinstrument spielen, ist hingegen öfters die linke Hand betroffen (Altenmüller, 2003). Bei Streichern wird die linke Hand meist stärker beansprucht, da mit der linken Hand die Saiten gegriffen werden und mit der rechten Hand der Bogen geführt wird (Nolet, 2013).

1.2.5 Diagnostik

Die Diagnostik des Musikerkrampfes wird in den meisten Fällen durch die klinische Diagnostik gestellt, indem Patienten beim Spielen des jeweiligen Instruments beobachtet werden (Tubiana, 2003). Tubiana erwähnte 2003 in seinem Artikel „*Musician's focal dystonia*“ einige Symptome, die dabei helfen sollen, die fokale Dystonie von anderen Bewegungsstörungen zu unterscheiden. Dabei führte er aus, dass die fokale Dystonie im Gegensatz zu anderen Bewegungsstörungen häufiger bei Männern im mittleren Alter auftritt, schmerzlos und tätigkeitsspezifisch ist. Es gibt jedoch auch einige Symptome, die sich mit anderen Bewegungsstörungen überschneiden. Dazu gehören, dass ähnlich wie beim *Morbus Parkinson* auch Tremor und Rigor auftreten können (Tubiana, 2003).

1.2.6 Therapie

Zu den Therapiemöglichkeiten der tätigkeitsspezifischen fokalen Dystonie gehören orale Medikamente, Chemodenervation mit Botulinumtoxin, die Neurorehabilitation und die chirurgische Intervention (wie z.B. THS= Tiefe Hirnstimulation) (Stahl und Frucht, 2017). Die am häufigsten angewandte Therapieoption ist die Chemodenervation mit Botulinumtoxin Typ A (Stahl und Frucht, 2017). Die Symptome sind durch die Therapiemöglichkeiten jedoch nicht vollständig regredient und betroffene Musiker können selten wieder professionell musizieren, da dies eine höchst anspruchsvolle Feinmotorik erfordert (Chang und Frucht, 2013).

Insgesamt gilt zu beachten, dass die unterschiedlichen Therapieformen individuell an den Patienten angepasst werden müssen und sich einige Therapieansätze noch nicht vollständig etabliert haben (Altenmüller und Jabusch, 2010). Dazu gehört unter anderem die Verwendung der transkraniellen Gleichstromstimulation, welche weiterhin an größeren Patientenkohorten experimentell erprobt werden muss (Furuya und Altenmüller, 2013).

Orale Medikamente

Die orale Medikation wird meistens als Adjuvans zur Therapie mit Botulinumtoxin verwendet (Gupta und Pandey, 2021). Zu den oralen Medikamenten zur Behandlung der Dystonien gehören Anticholinergika, GABA-Mimetika und die Behandlung mit Dopamin (Delnooz und Warrenburg, 2012). Zu den Anticholinergika gehört beispielsweise Trihexyphenidyl, welches die Wirkung von Acetylcholin an den zentralen Muskarinrezeptoren hemmt. Zu den GABA-Mimetika gehört unter anderem Baclofen. Baclofen wirkt agonistisch an den GABA-B Rezeptoren und ist ein zentral wirksames Muskelrelaxans. Die letzte Behandlungsmöglichkeit ist beispielsweise durch die Gabe von Levodopa oder Dopaminrezeptorantagonisten (wie z.B. Apomorphine, Amantadine) möglich (Gupta und Pandey, 2021). Marsden et al.

schlagen eine Kombination aus Dopaminantagonisten wie Tetrabenazin, Pimozid und bei schwereren Formen der Dystonie ein Anticholinergikum vor (Marsden et al., 1984). Insgesamt hat die Wirkung der genannten Medikamente jedoch einen begrenzten Nutzen (Gupta und Pandey, 2021).

Botulinumtoxin

Bei der Anwendung von Botulinumtoxin werden spezifische *SNARE*-Proteine gespalten, die die Freisetzung von Acetylcholin an der neuromuskulären Synapse hemmen (Stahl und Frucht, 2017). Durch das Verhindern der Freisetzung von Acetylcholin an der muskulären Endplatte führt dies zur Lähmung des Muskels (Pirazzini et al., 2017). Die betroffenen Muskeln können entweder durch neurologische Untersuchungen oder mit Hilfe von EMG-Messungen identifiziert werden (Cohen et al., 1989). Die neurologische Untersuchung bedingt die Einbeziehung des Instruments. Durch Videoaufnahmen gelingt es den Neurologen, die individuelle Symptomatik genauer zu untersuchen und die Therapie mit Botulinumtoxin entsprechend anzupassen (Zakin und Simpson, 2021).

Bei der Therapie mit Botulinumtoxin können einige unerwünschte Nebenwirkungen auftreten. Die häufigste unerwünschte Nebenwirkung sind Reaktionen an der Einstichstelle (Zakin und Simpson, 2021). Bei ca. 0,5-5% der Patienten, die mit Botulinumtoxin behandelt werden, kann der Körper bei mehrfacher Injektion neutralisierende Antikörper bilden (Yablon et al., 2007). Um die Bildung von neutralisierenden Antikörpern zu verhindern, sollte die verwendete Dosis des Botulinumtoxins reduziert und individuell angepasst werden (Albrecht et al., 2019).

Insgesamt zeigen Patienten mit einem Musikerkrampf jedoch eine geringere Therapietreue gegenüber einer Behandlung mit Botulinumtoxin als bei anderen Formen der fokalen Handdystonie. Der Grund dafür könnte sein, dass die Therapie mit Botulinumtoxin den Verlust der Feinmotorik, die die Musiker zum Musizieren benötigen, nicht vollständig heilen kann (Schuele et al., 2005; Jabusch et al., 2005; Lungu et al., 2011).

Rehabilitation

Das Ziel der Rehabilitationstherapie ist die Korrektur der abnormen somatotopischen Handrepräsentation im Cortex (Chang und Frucht, 2013).

Hierzu gehört die sogenannte eingeschränkte Bewegungstherapie (engl.: *Constraint-Induced Movement Therapy, CIMT*). Bei diesem Therapiekonzept geht es darum, die betroffene Körperregion zu trainieren und nicht betroffene Gelenke einzuschränken, um Ausgleichsbewegungen zu vermeiden (Prudente et al., 2018). Die Idee der CIMT entwickelten Taub und Kollegen erstmals bei Schlaganfallpatienten. Dabei wird der nicht betroffene Arm ruhiggestellt und der paretische Arm wird stärker trainiert (Taub et al., 1993).

Candia et al. entwickelten beim Musikerkrampf das *sensory motor retuning* (=SMR). Dabei werden eine oder mehrere nicht betroffene Finger mit einer Schiene ruhiggestellt und der dystone Finger trainiert. Nach einer bestimmten Zeit wird die Schiene entfernt und geschaut, ob sich ein Therapieerfolg ergeben hat. Von den elf Musikern, die sie in ihrer Studie untersuchten, zeigten acht Patienten (Pianisten und Gitarristen) eine signifikante Besserung nach Abnahme der Schiene. Die verbleibenden drei Patienten, welche ein Holzblasinstrument spielten, zeigten keine Änderung (Candia et al., 2002). Ein Jahr später untersuchten sie mittels Magnetenzephalographie-Messungen zehn Musiker, die durch eine SMR-Therapie behandelt wurden. Nach der Therapie war eine bildmorphologische Veränderung der somatotopischen Organisation im Homunculus sichtbar, die der nicht-betroffenen Seite ähnelt (Candia et al., 2003).

Weitere Formen der Rehabilitationstherapie sind die ergonomische Behandlung, das *slow-down exercise program* (=SDE), Biofeedback und die transkranielle Gleichstromstimulation (englisch: *transcranial direct current stimulation* (=tDCS)) (Comoletti et al., 2024). Bei der ergonomischen Behandlung werden Orthesen verwendet um dystonische Handbewegungen zu verhindern (Comoletti et al., 2024). Das *slow-down exercise program* ist ein fünfstufiges Trainingsprogramm, bei dem die Musiker ein kurzes Musikstück in langsamer Geschwindigkeit spielen sollen, bei der keine dystone Symptomatik auftritt. Im Verlauf wird dann die Geschwindigkeit wieder gesteigert (Sakai, 2006). Beim Biofeedback werden visuelle und auditive Schwingungsreize verwendet, um die Achtsamkeit für den Körper und die Bewegungen zu trainieren (z.B. Butler und Rosenkranz, 2006). Die tDCS ist eine nicht-invasive Methode, bei der schwache elektrische Impulse abgegeben werden, um die kortikale Erregbarkeit zu modulieren (Rosset-Llobet et al., 2015).

Chirurgische Intervention

Wenn die Therapie mit Botulinumtoxin nicht anschlägt und die Symptomatik für die Patienten weiterhin einschränkend ist, kann als verbleibende Möglichkeit ein interventioneller Eingriff wie eine Pallidotomie oder die THS durchgeführt werden. Da die THS individuell an den Patienten angepasst werden kann und ein geringeres Risiko gegenüber Komplikationen aufzeigt als die Pallidotomie, ist es hierbei die bevorzugte Intervention (Jankovic, 2006).

Die tiefe Hirnstimulation ist ein neurochirurgischer Eingriff, der vor allem zur Therapie des *Morbus Parkinsons*, dem essentiellen Tremor und der Dystonie Anwendung findet (Herrington et al., 2016). Dabei wird durch elektrische Stimulation der anormale Informationsfluss durch die Basalganglienschleife verhindert (Chiken und Nambu, 2014). Das am häufigsten verwendete Ziel für die tiefe Hirnstimulation beim Musikerkrampf ist der postero-ventrale Teil des *Globus pallidus internus* (Singh und Agrawal, 2020). Die Indikation kann gestellt werden, wenn die Patienten gegenüber der medikamentösen Therapie refraktär sind und psychiatrische Erkrankungen oder kognitive Störungen ausgeschlossen sind (Hogg et al., 2017). Die Patienten sollten zudem über die möglichen Komplikationen einer THS-Implantation aufgeklärt werden. Dazu gehören Komplikationen wie chirurgische Komplikationen (z.B. Schlaganfälle), hardware-assoziierte Komplikationen (z.B. Implantatversagen), aber auch stimulations-assoziierte Nebenwirkungen, die durch die Elektrodenposition und Aktivierung der umliegenden Areale zustande kommen (Singh und Agrawal, 2020). Die Wirkung der THS-Therapie ist sehr individuell. Weniger als 25% der Dystoniepatienten zeigten eine Verbesserung und ca. 10-25% zeigten keine Symptombesserung mittels THS (Vidailhet et al., 2005).

Zusammenfassung der Therapieformen nach aktueller Leitlinie

Nach den Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie wird empfohlen, bei fokalen aktionsinduzierten Dystonien vor der Therapie mit Botulinumtoxin ein ergo- und physiotherapeutisches Training durchzuführen. Sollte keine dieser Therapieoptionen wirksam sein und auch kein Ansprechen auf orale Medikamente stattfinden, so ist eine Therapie mittels THS möglich (Ip C. W. et al., Dystonie, S1-Leitlinie, 2021).

1.3 Händigkeit

1.3.1 Definition

Händigkeit beschreibt das Präferieren der einen Hand über die andere Hand bei alltäglichen Aktivitäten wie z.B. beim Schreiben oder Zeichnen (z.B. Corey et al., 2001) bzw. dass eine Hand bei einhändigen Tätigkeiten geschickter ist als die andere Hand (Nastou et al., 2022).

Die Händigkeit kann man unterteilen in: Linkshändigkeit, Rechtshändigkeit, Nicht-Rechtshändigkeit, gemischte Händigkeit und Ambidexter (Papadatou-Pastou et al., 2020).

Der Unterschied zwischen der „gemischten Händigkeit“ und den „Ambidextrern“ ist, dass Personen mit einer „gemischten Händigkeit“ in der Lage sind, beide Hände gleichermaßen für feinmotorische Aufgaben zu nutzen und „Ambidexter“ bedeutet, dass für verschiedene Aufgaben jeweils die andere Hand präferiert wird (Papadatou-Pastou et al., 2020).

Man kann zudem noch unterscheiden zwischen der „Präferenz“ und der „Performanz“ der Hand. Die „Handpräferenz“ beschreibt die bevorzugte Hand bei manuellen Tätigkeiten (Ocklenburg und Güntürkün, 2018). Diese ist vorteilhaft um lateralisiertes Verhalten zu untersuchen, indem Personen in Subgruppen unterteilt werden. Die „Handperformanz“ beschreibt indirekt die Kraft und Geschicklichkeit der Hand (Corey et al., 2001).

Papadatou-Pastou beschreibt Händigkeit als einen indirekten biologischen Index der zerebralen Sprachlateralisierung (Papadatou-Pastou et al., 2020). Die Sprache ist in der linken Gehirnhemisphäre, in wenigen Fällen auch in der rechten Hemisphäre, lokalisiert. Es wird angenommen, dass die Prävalenz der rechtshemisphärischen Sprachdominanz linear mit dem Grad der Linkshändigkeit zunimmt (Knecht et al., 2000).

Die Händigkeit kann durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst werden, dazu gehören sowohl genetische als auch nicht-genetische Ursachen. Zu den nicht-genetischen Ursachen gehört beispielsweise, dass in einigen Ländern kultureller Druck weiterhin noch dazu führt, dass Linkshänder dazu gezwungen werden, die rechte Hand zu verwenden. In einigen Studien wurde auch gezeigt, dass die Prävalenz der Händigkeit sich geographisch unterscheiden kann. So konnte gezeigt werden, dass die Prävalenz von Linkshändigkeit in Asien geringer ist als in Nord-Amerika und Europa (Porac und Buller, 1990).

Quantifizierung der Handpräferenz

Edinburgh-Handedness-Inventory (EHI)

Der am häufigsten verwendete Händigkeitstest ist der *Edinburgh handedness inventory* (=EHI) (Oldfield, 1971). Beim EHI werden zwanzig verschiedene Items (z. B. Schreiben, Zeichnen, Zahnbürste verwenden, mit dem Messer schneiden) abgefragt. Die Patienten können dann einen Fragebogen ausfüllen, bei dem die Spalte entweder für die rechte oder linke Hand ausgewählt werden kann. Werden zwei „+“ eingetragen, liegt eine starke Präferenz für die jeweilige Hand vor. Wird ein „+“ eingetragen, liegt eine schwache Präferenz für die jeweilige Hand vor. Wenn keine Präferenz vorhanden ist, werden in beide Spalten jeweils ein „+“ eingetragen. Am Ende wird aus den Items ein sogenannter Lateralitätsquotient berechnet (Oldfield, 1971).

Quantifizierung der Handperformanz

Der am häufigsten verwendete Test zur Bewertung der Handperformanz ist der *Pegboard Task*. Hierbei werden die Probanden aufgefordert, jeweils mit der rechten und der linken Hand, zehn Stifte auf einem Brett mit gegenüberliegenden Löchern so schnell wie möglich von einer Seite zur anderen zu bewegen. Dabei wird bewertet, wie viele Stifte innerhalb von 30 Sekunden erfolgreich in die gegenüberliegenden Löcher gesteckt wurden (Annett, 2002).

1.3.2 Händigkeitsverteilung in der Allgemeinbevölkerung

Papadatou-Pastou et al. untersuchten in einer großen Metaanalyse aus 200 Studien mit 2.396.170 Personen die Händigkeit. Dafür stellten sie fünf Metaanalyse-Gruppen auf:

Meta-analysis 1: Left-handedness (total), Meta-analysis 2: Non-right-handedness, Meta-analysis 3: Left-handedness (forced choice), Meta-analysis 4: Left-handedness (stringent), Meta-analysis 5: Mixed-handedness.

Im Folgenden beziehen sich alle weiteren statistischen Vergleiche mit Rechtshändern der Allgemeinbevölkerung ausschließlich auf die Metaanalyse 1 und auch dort, wo Nicht-Rechtshänder angegeben ist.

Die erste Metaanalyse beinhaltet 2.396.170 eingeschlossene Personen, aus diesen sich eine Prävalenz von 10,60% Linkshändern ergab. Es zeigten sich geschlechterspezifische Unterschiede, bei den Frauen waren es 9,53 % und bei den Männern waren es 11,62 % Linkshänder. Daraus ergibt sich, dass 89,4 % der untersuchten Personen Rechtshänder sein müssen. Somit ergibt sich eine Händigkeitsverteilung von 89,4% Rechtshändern und 10,6% Linkshändern (Papadatou-Pastou et al., 2020).

1.3.3 Händigkeitverteilung bei gesunden Musikern

Die Untersuchung der Händigkeit bei gesunden Musikern stellt ebenfalls eine wichtige Komponente dar, da im Gegensatz zu den Nicht-Musikern die nicht-dominante Hand durch zusätzliches musikalisches Training mittrainiert wird (Kopiez et al., 2010).

Die Händigkeit bei Musikern wurde in verschiedenen Studien untersucht. Oldfield (1969) und Götestam (1990) zeigten anhand von Händigkeitsfragebögen, dass die Anzahl von Linkshändern bei Musikern im Gegensatz zu Nicht-Musikern nicht erhöht war (Oldfield, 1969; Götestam, 1990; Kopiez et al., 2006). Dahingegen fanden Aggleton et al. 1994 bei professionellen Musikern einen leichten Anstieg von Links- und Gemischthändern (Aggleton et al., 1994; Kopiez et al., 2006). In der Studie von Aggleton et al. wurden insgesamt 623 Instrumentalisten aus 19 verschiedenen Orchestern anhand des *Edinburgh Handedness Inventory* Fragebogen befragt. Von den 623 Instrumentalisten waren 76 (12,2%) Instrumentalisten Linkshänder und 547 (87,8 %) Rechtshänder (Aggleton et al., 1994). Kopiez et al. zeigten in einer Studie mit 128 Musikstudenten anhand von Finger-Tapping-Test und Händigkeitsfragebögen, dass der Anteil von Nicht-Rechtshändern bei den Musikern höher ist als in der Allgemeinbevölkerung. Die Vergleichsgruppe zeigte einen Anteil von 21,7 % Nicht-Rechtshändern, wohingegen sich bei den Musikstudenten ein Anteil von 30,8 % an Nicht-Rechtshändern zeigte. Zwischen den Instrumentengruppen zeigt sich ebenfalls ein großer Unterschied. Der Anteil der Nicht-Rechtshänder bei Pianisten betrug 27,1 % und bei Streichern 35,6 % (Kopiez et al., 2010).

Insgesamt zeigten sich in den Studien von Aggleton et al. und Kopiez et al., dass der Anteil an Nicht-Rechtshändern in der Musikerpopulation höher ist als der Anteil der Nicht-Rechtshänder in der Allgemeinbevölkerung (Aggleton et al., 1994; Kopiez et al., 2006; Kopiez et al., 2010).

1.4 *Corpus callosum* und interhemisphärische Interaktion

Das *Corpus callosum* besteht aus ca. 200 bis 300 Millionen Axonen (Aboitiz, 1992) und ist für die Informationsverarbeitung zwischen den beiden Hemisphären verantwortlich (Gazzangia, 2000). Es ist die größte Struktur der weißen Substanz im Gehirn (Van der Knaap und van der Ham, 2011). Die Fasern des *Corpus callosum* sind erst in der Pubertät vollständig myelinisiert (Hellige, 1993). Im Alter wiederum nimmt die Myelinisierung ab und Anteile des *Corpus callosum* beginnen zu atrophieren (Addamo et al., 2007).

Neben dem *Corpus callosum* als Hauptleitungsbahn zwischen den Gehirnhemisphären gibt es zudem auch subkortikale Kommissuren. Diese subkortikalen Kommissuren sind ebenfalls an der interhemisphärischen Interaktion zwischen den Hemisphären beteiligt. Diese gewährleisten

einen zusätzlichen interhemisphärischen Austausch bei Patienten, bei denen eine Kallosotomie durchgeführt wurden ist und bei Patienten mit einer *Corpus callosum* Agenesie (Hellige, 1993). Zu der interhemisphärischen Interaktion gibt es zwei Modelle. Dazu gehört einmal das sogenannte *inhibitory model* (=inhibitorische Modell) und das *exzitatory model* (=exzitatorische Modell) (Van der Knaap und Van der Ham, 2011).

In dem inhibitorischen Modell geht es darum, dass die eine Hemisphäre durch eine inhibitorische Interaktion die andere Hemisphäre hemmt und dadurch an Lateralität bzw. Dominanz zunimmt (Hellige, 1993). Daraus folgt, dass bei einem großen bzw. breiten *Corpus callosum* eine zunehmende Inhibition möglich ist und dadurch die Asymmetrie bzw. Lateralität steigt (Yazgan et al., 1995). Ein wichtiger Begriff in diesem Zusammenhang ist der Begriff der *metacontrol*. Bei der Theorie der *metacontrol* geht es darum, dass während einer Aufgabe eine der beiden Hemisphären die dominante Rolle übernimmt (Van der Knaap und Van der Ham, 2011).

In dem exzitatorischen Modell geht es wiederum darum, dass die eine Hemisphäre die andere Hemisphäre aktiviert (Van der Knaap und Van der Ham, 2011). Man geht davon aus, dass, wenn von der Größe her das *Corpus callosum* schmal ist, die Asymmetrie und Lateralität zwischen den Hemisphären zunimmt (Yazgan et al., 1995).

Im Allgemeinen gibt es mehr Studien über die exzitatorische Funktion des *Corpus callosums* (Bloom und Hynd, 2005). Man vermutet, dass sowohl Inhibition als auch Exzitation eine wichtige Rolle in der interhemisphärischen Interaktion spielen. Dies zeigten auch Ni et al. durch eine TMS-Studie (Ni et al., 2020). Zudem sei die Komplexität der zu durchführenden Aufgabe von Bedeutung. Bei einfachen Aufgaben sei die Inhibition im Vordergrund und bei komplexeren Aufgaben die Exzitation (Van der Knaap und Van der Ham, 2011).

1.5 Hirnlateralisierung

Das menschliche Gehirn besteht aus zwei Hemisphären, die sich sowohl funktionell (Corballis, 2009) als auch strukturell anatomisch (z.B. Amunts et al., 2010) unterscheiden. Die linke und rechte Hemisphäre zeigen funktionelle Unterschiede in den Aspekten der Händigkeit, Sprachlateralisierung, in der Erkennung von Gesichtern und in der visuell-räumlichen Wahrnehmung. Auf struktureller Ebene unterscheidet man makro- und mikrostrukturelle Asymmetrien und Asymmetrien in der Genexpression und in der Proteinverteilung (Ocklenburg et al., 2024). Insgesamt zeigen mehr als 90% der kortikalen und subkortikalen Regionen der Hemisphären eine strukturelle Asymmetrie (Guadalupe et al., 2017).

1.5.1 Händigkeit und Hirnlateralisierung

Betrachtet man die Händigkeitsverteilung sind ca. 90% der Menschen Rechtshänder und 10% Linkshänder (Papadatou-Pastou et al., 2020). Schaut man sich den Cortex makroskopisch näher an, so beschreiben Amunts et al. einen Unterschied bei Rechts- und Linkshändern in der Tiefe des *Sulcus centralis* (Amunts et al., 1996). Der *Sulcus centralis* stellt die Grenze zwischen dem primären motorischen und somatosensorischen Cortex dar (De Vareilles et al., 2022). Die Tiefe des *Sulcus centralis* dient als Abbild für die Größe des motorischen Handareals. Amunts et al. untersuchten mittels MRT-Untersuchungen die Tiefe des *Sulcus centralis* bei rechts- und linkshändigen Männern. In der Studie konnte erstmals gezeigt werden, dass es einen Zusammenhang zwischen der Händigkeit und der Tiefe des *Sulcus centralis* gibt. Bei Rechtshändern war der linke *Sulcus centralis* tiefer und bei Linkshändern der rechte *Sulcus centralis*. Es zeigte sich also eine Zunahme der Tiefe des *Sulcus centralis* in der jeweils dominanten Hemisphäre. In einer weiteren Studie wurden professionelle Pianospieleler untersucht. Diese waren Rechtshänder und spielten seit ihrer Kindheit intensiv mit beiden Händen Piano. Bei den professionellen Pianospielern zeigte sich die Tiefe des *Sulcus centralis* in jeweils beiden Hemisphären symmetrischer (Amunts et al., 1997).

Neben dem Zusammenhang zwischen der Händigkeit und dem *Sulcus centralis*, stellte sich ebenfalls eine Verknüpfung zwischen der Händigkeit und der Morphologie des *Corpus callosums* dar (z.B. Driesen und Raz, 1995). Sandra F. Witelson zeigte 1985 bei *post mortem* Messungen schon, dass Linkshänder und Ambidexter einen größeren *Corpus callosum* besitzen als Rechtshänder (Witelson, 1985). In einer Metaanalyse, in der man ebenfalls den Einfluss der Händigkeit auf die Morphologie des *Corpus callosum* untersuchte, zeigte sich, dass Linkshänder, die ein größeres *Corpus callosum* aufweisen, weniger lateralisiert sind als Rechtshänder (Driesen und Raz, 1995). Zudem sei die vordere kallosale Fläche im *Corpus callosum*, indem Axone, die ein Teil der motorischen Areale der beiden Hemisphären verbinden (Pandaya et al., 1971), bei Linkshändern vergrößert (Habib et al., 1991). Im Allgemeinen zeigte sich in vielen Studien, dass Linkshänder weniger lateralisiert sind und Rechtshänder eine stärkere Lateralisierung aufweisen (z.B. Civardi et al., 2000; Pool et al., 2014; Pool et al., 2015).

1.5.2 Geschlecht und Hirnlateralisierung

Neben dem Zusammenhang zwischen der Händigkeit und der Hirnasymmetrie wurde am häufigsten der Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und der Hirnasymmetrie untersucht (Hausmann, 2017). Die Gemeinsamkeit vieler Studien ist, dass es strukturelle geschlechter-spezifische Unterschiede im *Cerebrum* gibt und die funktionale zerebrale Asymmetrie (=FCA) hormonabhängig ist (Hodgetts und Hausmann, 2023).

Bei Frauen sind während des Menstruationszyklus die Hormone dynamisch. In der Follikelphase (mit hohen Estradiolspiegeln) und in der postovulatorischen Lutealphase (hohe Estradiol- und Progesteronspiegel) ist die FCA reduziert. Während sie in der Menstruation (mit niedrigen Estradiol- und Progesteronspiegeln) erhöht ist (Hodgetts und Hausmann, 2018). Hausmann und Güntürkün 2000 stellten die sogenannte „*hypothesis of progesterone-mediated inter-hemispheric decoupling*“ auf. In dieser Hypothese verdeutlichen Hausmann und Güntürkün, dass die Sexualhormone einen Einfluss auf die interhemisphärische Interaktion haben. Es wurde die Theorie aufgestellt, dass Progesteron die interhemisphärische Interaktion abschwächt und es somit zu einer verstärkenden bilateralen Aktivierung und zu einer reduzierten FCA kommt (Hausmann und Güntürkün, 2000; Regard et al., 1994). Dies geschieht, indem die inhibitorische Wirkung auf GABA gestärkt und die exzitatorische Wirkung auf Glutamat unterdrückt wird (Smith et al., 1987). Estradiol hingegen könnte einen exzitatorischen Effekt auf Glutamat haben. Hohe Estradiolspiegel könnten demnach die interhemisphärische Interaktion stärken und damit die FCA verstärken. Estradiol und Progesteron wirken im Menstruationszyklus gemeinsam (Hausmann, 2017).

Vergleicht man die Geschlechter miteinander, so zeigen sich geschlechtsspezifische Unterschiede im *Cerebrum*. Die meisten Studien zeigen, dass Frauen eine geringere FCA besitzen als Männer und somit Männer eine stärkere Lateralisierung aufweisen als Frauen (z.B. Liu et al., 2009). Dies wird in einigen Studien auf eine Veränderung im *Corpus callosum* zurückgeführt. Beispielsweise ist die sogenannte interhemisphärische Übertragungszeit (*interhemispheric transfer time= IHTT*) bei Frauen symmetrischer als bei Männern (Nowicka und Fersten, 2001). Ingalhalikar et al. 2014 deuten in ihrer Arbeit, dass Männer eine größere intrahemisphärische Verbindung, insbesondere zwischen dem Frontal-, Temporal und Parietallappen, zeigen. Frauen hingegen würden eine größere interhemisphärische Verbindung aufweisen (Ingalhalikar et al., 2014).

1.6 Ziele der Arbeit und Arbeitshypothese

In der Literatur wird beschrieben, dass bei Patienten mit fokalaktionsinduzierten Dystonie trotz unilateraler Symptomatik beide Gehirnhemisphären betroffen sind (Butz et al., 2006; Braun et al., 2003; Byrnes et al., 1998; Tempel und Perlmutter, 1993; Chen et al., 1995; Hamano et al. 1999; Ridding et al., 1995; Meunier et al., 2001). Dahinter wird eine veränderte interhemisphärische Interaktion vermutet (Meunier et al., 2001). Außerdem wurde gezeigt, dass gesunde Rechtshänder und Männer eine stärkere Lateralisierung aufweisen als gesunde Nicht-Rechtshänder und Frauen (z.B. Liu et al., 2009; Civardi et al., 2000). Da die Händigkeit ein indirektes Abbild der Hirnlateralisierung (Ocklenburg und Güntürkün, 2008) darstellt, wurde folgende Hypothese aufgestellt:

Bei Patienten mit Musikerkrampf ist der Anteil der Rechtshänder höher und der Anteil der Nicht-Rechtshänder geringer als in der Allgemeinbevölkerung und bei gesunden Musikern.

Da der Musikerkrampf eine seltene neurologische Erkrankung darstellt und somit eine monozentrische Studie nicht die nötige Patientenzahl erreichen kann, wurde als Methode zur Erfassung der Händigkeit eine systematische Übersichtsarbeit durchgeführt. Durch das Erfassen der Daten zur Händigkeit aller publizierten Studien wurde es somit möglich, bei dieser seltenen Erkrankung, eine größtmögliche Patientenkohorte zu erfassen und auszuwerten.

2 Methoden

2.1 Überblick - Systematische Übersichtsarbeit und Metaanalyse

Bei einer systematischen Übersichtsarbeit (*Systematic Review*) mit Metaanalyse werden zu einer klar formulierten Fragestellung, durch die Zusammenfassung und Analyse der Daten von einer Vielzahl an Studien, neue Erkenntnisse über das jeweilige Thema bzw. die jeweilige Fragestellung gewonnen.

Dazu wurde die biomedizinische Datenbank *PubMed* verwendet. Die Abkürzung *PubMed* steht dabei für *Public Medicine* und ist eine Datenbank aus über 37 Millionen Artikeln, die von den *National Institutes of Health* (NIH) geführt wird (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>).

Um Selektionsfehler und einen höheren Qualitätsstandard zu gewährleisten, wird die systematische Übersichtsarbeit durch zwei unabhängige Untersucher durchgeführt. Bei der Durchführung einer systematischen Übersichtsarbeit müssen verschiedene Kriterien beachtet werden. Dazu gehören die explizite Formulierung von Ein- und Ausschlusskriterien. Demnach wird die Literaturrecherche dann systematisch durchgeführt. Dazu gehören:

- Formulierung der expliziten Fragestellung nachdem sogenannten PICO-Schema:
P= „*Patient/Population*“
I= „*Intervention*“
C= „*Comparison*“
O= „*Outcome*“
- Definieren der genauen Suchstrategie/Suchbegriffes
- Titel und Abstract-Screening der ausgewählten Studien
- Volltextscreening entsprechend der Fragestellung
- Datenextraktion
- Datenauswertung und Zusammenfassung der Daten

2.2 Voranmeldung der Arbeit

Der Review wurde vor Beginn bei *PROSPERO* unter der Registrierungsnummer CRD42022292675 registriert. *PROSPERO* ist ein internationales Register für systematische Übersichtsarbeiten des *Centre for Reviews and Dissemination University of York* unter anderem in den Bereichen der Medizin, des Gesundheitswesens und der Sozialfürsorge (<https://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO/>). Das Ziel der Registrierung bei *PROSPERO* ist, dass verhindert wird, dass eine systematische Übersichtsarbeit über ein Thema erstellt wird, an dem bereits eine andere Forschungsgruppe arbeitet.

2.3 Einschluss- und Ausschlusskriterien

Studientypen

Als Einschlusskriterium für die vorliegende systematische Übersichtsarbeit wurden Artikel mit Primärdaten ausgewählt. Zu diesen Artikeln gehören randomisierte kontrollierte Studien (RCT), nicht-randomisierte kontrollierte Studien (NRCT) und Fallberichte.

Eingeschlossen wurden alle deutsch- und englischsprachigen Artikel aus *PubMed* bis einschließlich Ende 2022. Alle anderen fremdsprachigen Artikel wurden ausgeschlossen.

Ausgeschlossen wurden zudem systematische Übersichtsarbeiten und Metaanalysen, da diese keine Primärdaten enthalten. Zudem wurden Studien mit Tierexperimenten nicht in die Datenerhebung übernommen.

Patienten

Beim Screening der Artikel wurden alle Patienten unabhängig von Alter, Geschlecht, Herkunft, Instrumentengruppe, Musikerstatus (Student, Amateur, professionelle Musiker) und Therapie des Musikerkrampfes miteinbezogen. Ausgeschlossen wurden Patienten mit weiteren neurologischen Erkrankungen wie zum Beispiel Schlaganfall oder *Morbus Parkinson*.

2.4 Literaturrecherche

2.4.1 Suchbegriff

Das Ziel bei der Erstellung des Suchbegriffes war es, die größtmögliche Anzahl an geeigneten Artikeln bei der Literaturrecherche in *PubMed* zum Musikerkrampf zu gewinnen.

Da der Musikerkrampf allgemein eine Untergruppe der Dystonie (=Dystonia), der fokalen Handdystonie (=focal hand dystonia) und der fokalen aktionsinduzierten Dystonie (=focal task specific dystonia) darstellt, wurden alle drei Begriffe in den Suchbegriff miteingeschlossen. Ein weiteres Synonym des Musikerkrampfes (=musician's cramp) ist die Musikerdystonie (=musician's dystonia). Da die Bezeichnung „musician's“ gelegentlich vor dem „s“ mit oder ohne Apostrophierung verwendet wurde (die englische Plural- und Singularform), wurde ein Asterisk (*musician**) angewandt. Da es einige Artikel gibt, in denen sowohl die Händigkeit zum Musikerkrampf als auch zum Schreibkrampf erwähnt werden, wurde in den Suchbegriff zusätzlich der Begriff des Schreibkrampfes (= „writer*“ AND „cramp“ und „writer*“ AND „dystonia“) verwendet. Zudem wurde folgender *MeSH*-Term (=Medical Subject Headings) verwendet: "Dystonia, Focal, Task-Specific" [Supplementary Concept]. Der *MeSH* ist ein Schlagwortregister und enthält alle Schlagwörter, die auf *PubMed* vorkommen. Es ist somit möglich durch die *MeSH* Datenbank Hinweise auf weitere relevante Suchbegriffe zu gewinnen.

Somit ergab sich für die Literaturrecherche folgender Suchbegriff:

("musician*" AND "cramp") OR ("musician*" AND "dystonia") OR ("writer*" AND "cramp") OR ("writer*" AND "dystonia") OR ("focal hand dystonia") OR ("focal task specific dystonia") OR "Dystonia, Focal, Task-Specific"
[Supplementary Concept]

2.4.2 Systematische Literaturrecherche

Um eine systematische Literaturrecherche durchzuführen, wurde die Software *Covidence*, ein Programm, welche das Screeningverfahren und die Datenextraktion der Artikel vereinfachen soll, verwendet (www.covidence.org). Die systematische Literaturrecherche ist untergliedert in Titel und Abstract Analyse mit anschließender Volltext-Analyse. Um eine Qualitätssicherung zu gewährleisten, wurde die systematische Literaturrecherche durch zwei unabhängige Untersucher (Sara Nur Alici und Soumaya Ouennane) durchgeführt. Für den Fall, dass sich beide Untersucher bezüglich der Entscheidung, ob ein Artikel in die Datenanalyse miteinbezogen werden soll oder nicht, uneinig waren, konnte ein dritter Untersucher (Markus Butz) mit in die Entscheidungsfindung einbezogen werden.

Im ersten Schritt wurde der oben genannte Suchbegriff in *PubMed* eingegeben und die Artikel in *EndNote* übertragen. *EndNote* ist ein Literaturverwaltungsprogramm, in dem Literaturdatenbanken, in der vorliegenden Arbeit aus *PubMed*, angelegt und verwaltet werden können. Auf *EndNote* wurden die Artikel dann auf Duplikate überprüft.

Im zweiten Schritt erfolgte die Titel und Abstract Analyse mithilfe von *Covidence*. Die Titel und Abstract Analyse erfolgte durch Beachtung der Ein- und Ausschlusskriterien. Waren die oben genannten Ausschlusskriterien schon im Rahmen der Titel und Abstract Analyse erkenntlich, wurden diese ausgeschlossen.

Der größte Anteil der Volltexte war über *PubMed* verfügbar. Einige Volltexte waren zusätzlich über die Online-Datenbank *Google Scholar* auffindbar (<https://scholar.google.com/>). Andere Volltexte wiederum wurden durch die Fernleihe über die Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf bestellt. Waren keiner dieser drei Optionen möglich, wurden die Autoren der jeweiligen Artikel angeschrieben. Beim Screening der Volltexte wurde hauptsächlich darauf geachtet, ob die Händigkeit der Musikerkrampf-Patienten angegeben wurden. Die Ergebnisse des Screeningverfahrens wurden gemäß *PRISMA* (=Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) dargestellt (Moher et al., 2019).

Exkludiert wurden Artikel aus folgenden Gründen (siehe Abb. 2 *PRISMA-Flowchart*):

- **Keine Händigkeit angegeben** ($n = 306$): Die Artikel beinhalteten keine Informationen über die Händigkeit der jeweiligen Patienten.
- **Falsche Patientenpopulation** ($n = 45$): In diesen Artikeln wurde zwar u.a. die Händigkeit untersucht, jedoch wurden diese Artikel aufgrund der ausgewählten Patientenpopulation ausgeschlossen. Zu den Ausschlusskriterien gehören beispielsweise: gesunde Probanden, Patienten mit weiteren Erkrankungen wie z.B. dem essentiellen Tremor oder *Morbus Parkinson* und Patienten postoperativ.
- **Systematische Übersichtsarbeiten** ($n = 23$): Die vorliegenden Artikel waren systemische Übersichtsarbeiten oder Metaanalysen und erhielten somit keine Primärdaten.
- **Falsches Studiendesign** ($n = 22$): Ausschluss von z.B. sog. *Letter* (=Briefe, die Informationen über den aktuellen wissenschaftlichen Stand eines bestimmten Themas enthalten).
- **Bereits untersuchte Patienten** ($n = 19$): Die in der Studie beschriebenen Patienten, wurden in bereits anderen inkludierten Studien verwendet. Damit keine Patienten doppelt in die vorliegende systematische Übersichtsarbeit

eingeschlossen werden, wurden die Artikel verglichen, die vom Veröffentlichungsjahr zeitnah publiziert wurden und die Patienten aus derselben Kohorte verwendet wurden. Das gilt beispielsweise für das Institut für Musikphysiologie und Musikermedizin in Hannover aus den Arbeiten von Prof. Dr. Eckart Altenmüller.

- **Keine Patienten** ($n = 11$): Einige Studien berichteten über die Händigkeit beim Musikerkrampf, verwendeten jedoch keine Patienten in ihrer Studie.
- **Händigkeit unklar** ($n = 4$): In einigen Studien wurde die Händigkeit zwar erwähnt, jedoch konnte diese nicht spezifisch zur Händigkeit des Musikerkrampfes eingeordnet werden. Dazu gehören Artikel, in denen beispielsweise erwähnt wurde, dass die Kohorte aus Patienten mit Musiker- und Schreibkrampf mit z.B. 30 Rechtshändern und 10 Nicht-Rechtshändern besteht. Aus dieser Information lässt sich nicht zurückverfolgen wie viele Patienten mit Musikerkrampf Rechts- oder Nicht-Rechtshänder waren.
- **Nicht verfügbar** ($n = 4$): Einzelne Artikel wurden anhand der Titel und Abstract-Analyse bei Übereinstimmung der Einschlusskriterien inkludiert, jedoch waren die Volltexte letztendlich nicht verfügbar, was dann zum Ausschluss führte.
- **Andere Sprache** ($n = 3$): Obwohl der Großteil der fremdsprachigen Artikel bereits in der Titel- und Abstract-Analyse ausgeschlossen wurden, zeigten sich in der Volltextanalyse eine geringe Anzahl an fremdsprachigen Artikeln, die nicht eingeschlossen wurden.
- **Text zurückgezogen** ($n = 1$): Ein Artikel wurde zurückgezogen.

Am Ende wurden in die Datenerhebung 90 Artikel über den Musikerkrampf mit in die Datenanalyse miteinbezogen.

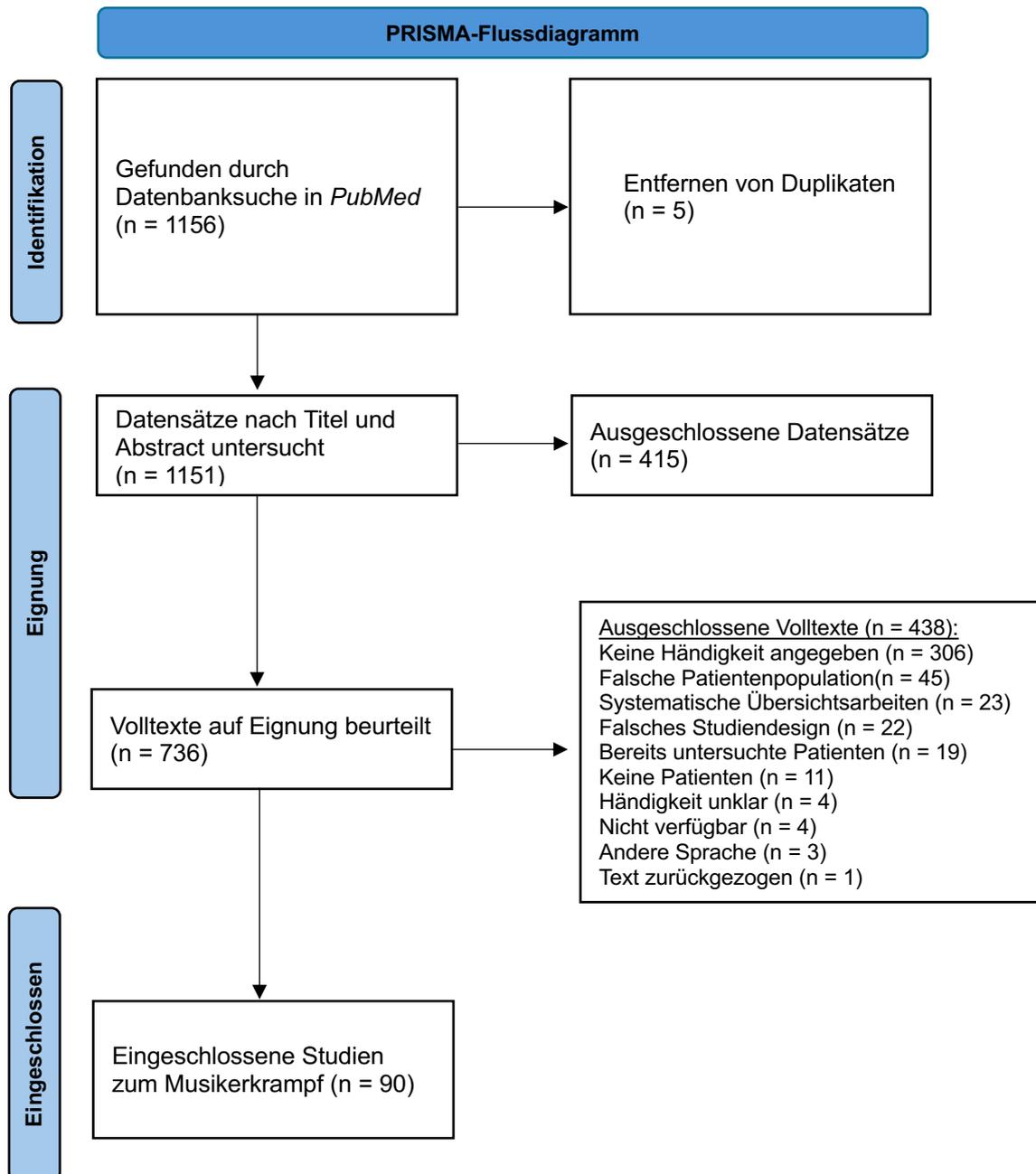


Abb. 2: PRISMA-Flussdiagramm zum Musikerkrampf

Das PRISMA-Flussdiagramm stellt das systematische Vorgehen der Literaturrecherche zu den Artikeln über die Händigkeit bei Patienten mit Musikerkrampf dar. Die Artikel wurden anfangs nach Titel und Abstract und danach nach Volltext-Eignung beurteilt und aussortiert, sodass am Ende nur Artikel eingeschlossen wurden die Daten zur Händigkeit bei Patienten mit Musikerkrampf enthielten (n = Anzahl der Artikel).

2.5 Datenextraktion

In die Datenextraktion gingen Artikel über die Händigkeit des Musikerkrampfes ein, die mit Hilfe von *Covidence* selektiert wurden. Die Datenextraktion erfolgte mithilfe von *Excel*. Die entsprechende Tabelle enthielt folgende Parameter:

- Publikationsjahr
- Journal, in dem der Artikel veröffentlicht wurde
- Land
- Geschlecht
- Alter
- Erkrankungsalter
- Krankheitsdauer
- Händigkeit
- Wie die Händigkeit getestet wurde (z.B. *Edinburgh Handedness Inventory*)
- Die symptomatische Hand bzw. Hände
- Diagnosestellung (z.B. ärztliche Untersuchung durch einen Neurologen)
- Musikerstatus (professionell, semiprofessionell, Amateur, Student)
- Instrument
- Medikation

2.6 Statistische Datenauswertung

2.6.1 Händigkeit

Um die Händigkeitsverteilung innerhalb der Patientenpopulation zu bestimmen, wurden zur Bestimmung der jeweiligen Rechts- und Nicht-Rechtshänder diese numerisch kodiert. Rechtshänder wurden mit der Zahl „1“ und Nicht-Rechtshänder mit der Zahl „2“ kodiert. Anhand der Spaltenstatistik konnte dann die Anzahl der jeweiligen Rechts- und Nicht-Rechtshänder bestimmt werden. Die Händigkeitsdaten für die Allgemeinbevölkerung wurden aus der Metaanalyse von Papadatou-Pastou und Kollegen (2020) und die für gesunde Musiker aus der Arbeit von Aggleton et al. (1994) entnommen (Papadatou-Pastou et al., 2020; Aggleton et al. 1994).

Um die Händigkeitsverteilung zwischen der Musikerkrampf-Population und jeweils mit gesunden Musikern und der Allgemeinbevölkerung zu vergleichen, wurde der Chi-Quadrat-Test verwendet.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Anpassungstest („*Chi-Square Goodness of Fit Test*“) verwendet. Als Signifikanzniveau wurde ein p -Wert von 0,05 festgelegt. Die Berechnung wurde mit Hilfe der statistischen Software *SPSS* (=Statistical Package for Social Sciences; IBM, U.S.A.) durchgeführt.

2.6.2 Geschlecht

Die Verteilung des Geschlechtes innerhalb der Musikerkrampf-Population wurde nachdem gleichen Verfahren wie bei der Händigkeitverteilung durchgeführt.

Die Verteilung des Geschlechtes innerhalb der Musikerkrampf-Population wurde ebenfalls numerisch kodiert. Weibliche Musikerinnen wurden mit der Zahl „1“ und männliche Musiker mit der Zahl „2“ kodiert. Einige Artikel erhielten keine Geschlechtsangabe, in dem Falle wurden diese mit der Zahl „0“ kodiert.

Anhand der Spaltenstatistik wurde die jeweilige Gesamtzahl von weiblichen Musikerinnen und männlichen Musikern bestimmt.

Wie bei der Händigkeitverteilung wurde die Geschlechterverteilung der Musikerkrampf-Population mit jeweils gesunden Musikern und der Allgemeinbevölkerung mit dem Anpassungstest des Chi-Quadrat Testes berechnet. Die Daten über die Geschlechterverteilung innerhalb der Allgemeinbevölkerung stammen aus Daten der *United Nations (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). World Population Prospects 2019, custom data acquired via website)*. Die Daten zur Geschlechterverteilung innerhalb der gesunden Musiker stammen aus dem Artikel von Aggleton et al. (Aggleton et al., 1994).

Die statistische Berechnung wurde auch hier wieder mittels *SPSS* durchgeführt.

2.6.3 Erkrankungsalter

In einigen Studien wurde das Erkrankungsalter konkret angegeben, in anderen Studien wiederum wurde das Alter der Patienten und die Erkrankungsdauer angegeben. Im zweiten Fall musste das Erkrankungsalter berechnet werden.

Das mittlere Erkrankungsalter in der Musikerkrampf-Population wurde ebenfalls mit Hilfe von *SPSS* berechnet. Außerdem wurde dieses graphisch als Histogramm dargestellt.

2.6.4 Instrumentenverteilung

Da die in der vorliegenden Arbeit eingeschlossenen Patienten eine große Bandbreite an Instrumenten spielen, wurden diese in die großen Instrumentengruppen eingeteilt und zusammengefasst. Zu diesen gehören: Tasteninstrumente, Zupfinstrumente, Blasinstrumente, Streichinstrumente und Schlaginstrumente.

2.6.5 Vergleich Händigkeit und Geschlecht

Um die Händigkeit ebenfalls geschlechterspezifisch zu bestimmen, wurden die Parameter „Händigkeit“ und „Geschlecht“ gemeinsam betrachtet.

Es sollte bestimmt werden, wie viele Rechtshänder und Nicht-Rechtshänder es jeweils unter den Frauen und jeweils unter den Männern gibt.

Dazu wurde einmal die Anzahl von Rechtshändern und Nicht-Rechtshändern für Frauen bestimmt und dann separat für Männer. Diese Ergebnisse wurden dann mit der Verteilung der gesunden Musiker und der gesunden Allgemeinbevölkerung verglichen. Hierzu wurde separat für die Geschlechter ein Chi-Quadrat-Test mit Vergleich zu den gesunden Musikern und zur gesunden Allgemeinbevölkerung durchgeführt. Da in einigen Artikeln das Geschlecht zusammengefasst war und nicht spezifisch zur jeweiligen Händigkeit zugeordnet werden konnte, wurden nur die Daten verwendet, bei denen die Händigkeit und das Geschlecht zuzuordnen waren. Auch hier stammen die Daten zur Allgemeinbevölkerung aus der Studie von Papadatou-Pastou et al. und die Daten zu gesunden Musiker aus der Arbeit von Aggleton et al. (Papadatou-Pastou et al. 2020; Aggleton et al. 1994).

2.6.6 Vergleich Händigkeit und betroffene Hand

Des Weiteren wurde der Zusammenhang zwischen der Händigkeit und der betroffenen Hand untersucht. Hierzu wurde jeweils eine Kategorie für die „betroffene rechte Hand“ und für die „betroffene nicht-rechte Hand“ erstellt. Somit war es möglich herauszufinden wie viele von den Patienten, die einen Musikerkrampf in der rechten oder nicht-rechten (links- oder beidseitig) Hand besaßen, Rechtshänder und Nicht-Rechtshänder waren.

2.6.7 Vergleich Händigkeit und Instrument

In der gesammelten Datenbank waren die am häufigsten vertretenen Instrumentengruppen die Pianisten und die Gitarristen. In diesen beiden Gruppen wurde ebenfalls die Händigkeitsverteilung untersucht. Dazu wurde eine Spalte zu Rechtshänder und Nicht-Rechtshändern erstellt und die Anzahl der rechtshändigen und nicht-rechtshändigen Pianisten und Gitarristen ermittelt.

3 Ergebnisse

Für die Datenerhebung konnten insgesamt 90 *PubMed*-Artikel zum Musikerkrampf gefunden und ausgewertet werden. Aus den 90 Artikeln ergab sich eine Anzahl von 762 Patienten mit Musikerkrampf, die in Hinblick auf die Verteilung von Händigkeit, Geschlecht, Erkrankungsalter und Instrumentenverteilung untersucht wurden. Die Verteilung der Händigkeit und die Geschlechterverteilung wurde zudem jeweils mit gesunden Musikern und der Allgemeinbevölkerung verglichen. Des Weiteren wurden die Zusammenhänge zwischen Händigkeit und Geschlecht, Händigkeit und betroffene Hand und Händigkeit und Instrumentenverteilung verglichen.

3.1 Händigkeit

3.1.1 Händigkeitsverteilung Musikerkrampf

In der Datenerhebung zeigte sich unter den Patienten mit Musikerkrampf eine Verteilung von 698 (91,6%) Rechtshändern zu 64 (8,4%) Nicht-Rechtshändern (Linkshänder und Ambidexter) (siehe Abb. 3a).

3.1.2 Händigkeitsverteilung im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung

Beim Vergleich der Händigkeitsverteilung der Patienten mit Musikerkrampf und der Allgemeinbevölkerung (siehe Abb. 3) zeigte sich im Chi-Quadrat-Anpassungstest ein signifikanter Unterschied ($X^2 = 3,90$; $df = 1$; $p = 0,048$).

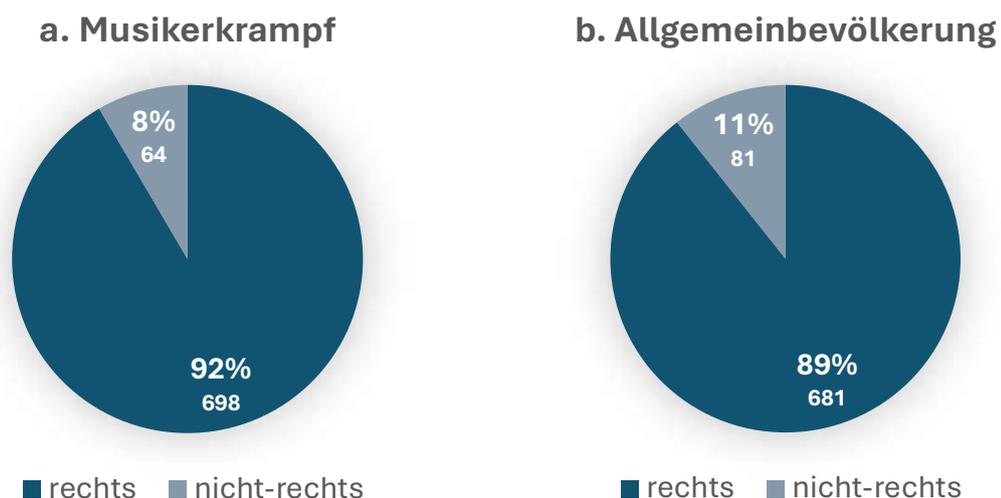


Abb. 3: Vergleich der Händigkeitsverteilung zwischen Patienten mit Musikerkrampf und der Allgemeinbevölkerung

a=Händigkeitsverteilung bei Patienten mit Musikerkrampf: Rechts= Rechtshänder mit Musikerkrampf, Nicht-rechts= Nicht-Rechtshänder (Linkshänder und Ambidexter) mit Musikerkrampf.
b=Händigkeitsverteilung in der Allgemeinbevölkerung: Rechts= Rechtshänder in der Allgemeinbevölkerung, Nicht-rechts= Nicht-Rechtshänder (Linkshänder und Ambidexter) in der Allgemeinbevölkerung.

3.1.3 Händigkeitverteilung im Vergleich zu gesunden Musikern

Vergleicht man die Händigkeitverteilung von Musikerkrampfpatienten und gesunden Musikern, zeigt sich ebenfalls ein signifikanter Unterschied ($X^2 = 10,28$; $df = 1$; $p = 0,001$) (siehe Abb. 4).

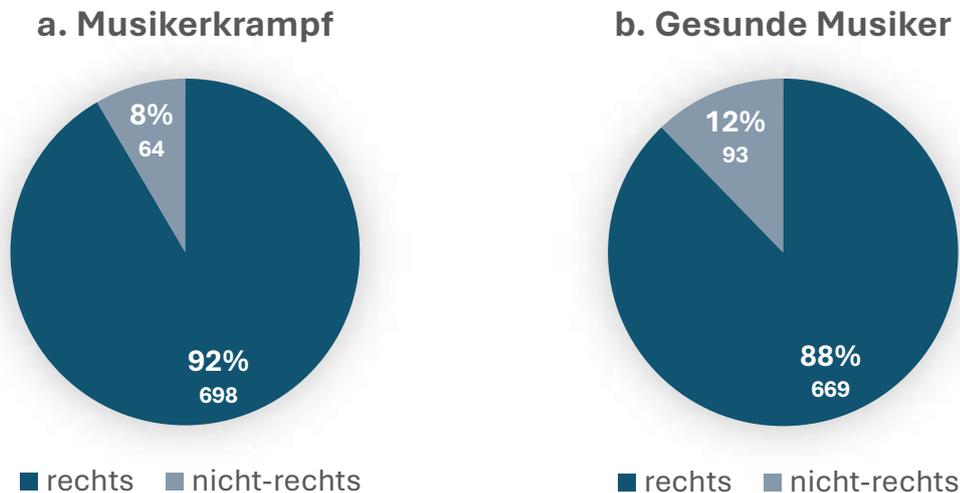


Abb. 4: Vergleich der Händigkeitverteilung zwischen Patienten mit Musikerkrampf und gesunden Musikern

a=Händigkeitverteilung bei Patienten mit Musikerkrampf (siehe Legendenbeschriftung Abb. 3a).

b=Händigkeitverteilung bei gesunden Musikern: Rechts= Anzahl Rechtshänder bei gesunden Musikern, Nicht-Rechts= Anzahl Nicht-Rechtshänder (Linkshänder und Ambidexter) bei gesunden Musikern.

Übersicht-Händigkeitverteilung

	Rechtshänder	Nicht-Rechtshänder
Musikerkrampf	91,6%	8,4%
Allgemeinbevölkerung	89,4%	10,6%
Gesunde Musiker	87,8%	12,2%

Tabelle 1: Übersicht der Händigkeitverteilung zwischen Patienten mit Musikerkrampf, der Allgemeinbevölkerung und gesunden Musikern

3.2 Geschlecht

3.2.1 Geschlechterverteilung Musikerkrampf

Die Geschlechterverteilung innerhalb der Musikerkrampfpopulation zeigt eine Verteilung von 534 (74,3%) männlichen Musikern und 185 (25,7%) weiblichen Musikerinnen. Es zeigt sich eine Überrepräsentation von männlichen Musikern innerhalb der Musikerkrampfpopulation (siehe Abb. 5a).

3.2.2 Geschlechterverteilung im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung

Der Vergleich der Geschlechterverteilung der Musikerkrampf-Patientenpopulation und der Allgemeinbevölkerung zeigt einen signifikanten Unterschied ($X^2 = 163,88$; $df = 1$; $p < 0,001$) (siehe Abb. 5).

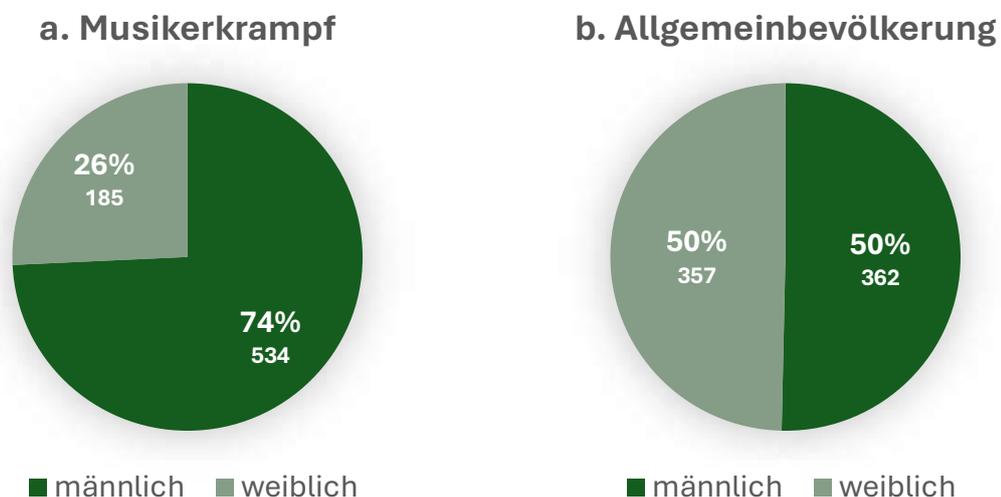


Abb. 5: Vergleich der Geschlechterverteilung zwischen Patienten mit Musikerkrampf und der Allgemeinbevölkerung

a=Geschlechterverteilung bei Patienten mit Musikerkrampf: Männlich= Anteil der männlichen Patienten mit Musikerkrampf, Weiblich = Anteil der weiblichen Patientinnen mit Musikerkrampf.

b=Geschlechterverteilung in der Allgemeinbevölkerung: Männlich= Anteil der Männer in der Allgemeinbevölkerung, Weiblich = Anteil der Frauen in der Allgemeinbevölkerung.

3.2.3 Geschlechterverteilung im Vergleich zu gesunden Musikern

Vergleicht man die Geschlechterverteilung zwischen der Patientenpopulation und den gesunden Musikern, zeigt sich hier ebenfalls ein signifikanter Unterschied ($X^2 = 8,35$; $df = 1$; $p = 0,004$) (siehe Abb. 6). Im Vergleich der Geschlechterverteilung zwischen Musikerkrampf-Patienten und gesunden Musikern, zeigt sich in beiden Gruppen eine Überrepräsentation von männlichen Musikern. In der Gruppe der Musikerkrampf-Patienten ist der Anteil von Männern jedoch höher als in der Gruppe der gesunden Musiker.

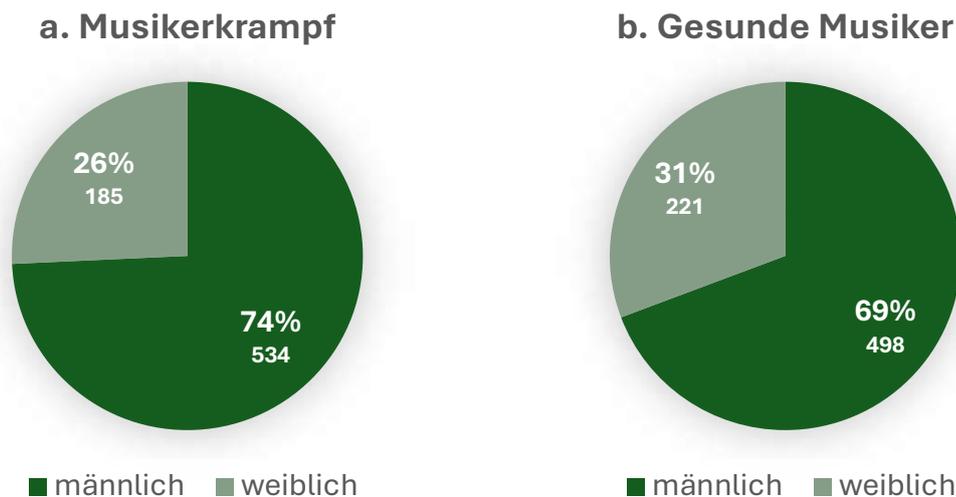


Abb. 6: Vergleich der Geschlechterverteilung zwischen Patienten mit Musikerkrampf und gesunden Musikern

a=Geschlechterverteilung bei Patienten mit Musikerkrampf (siehe Legendenbeschriftung Abb. 5a).

b=Geschlechterverteilung bei gesunden Musikern: männlich= Anteil der gesunden männlichen Musiker, weiblich= Anteil der gesunden weiblichen Musikerinnen.

Übersicht-Geschlechterverteilung

	Männer	Frauen
Musikerkrampf	74,3%	25,7%
Allgemeinbevölkerung	50,4%	49,6%
Gesunde Musiker	69,3%	30,7%

Tabelle 2: Übersicht der Geschlechterverteilung zwischen Patienten mit Musikerkrampf, der Allgemeinbevölkerung und gesunden Musikern

3.3 Erkrankungsalter Musikerkrampf

Das mittlere Erkrankungsalter bei 495 Patienten mit Musikerkrampf liegt bei $34,8 \pm 10$ Jahre (siehe Abb. 7).

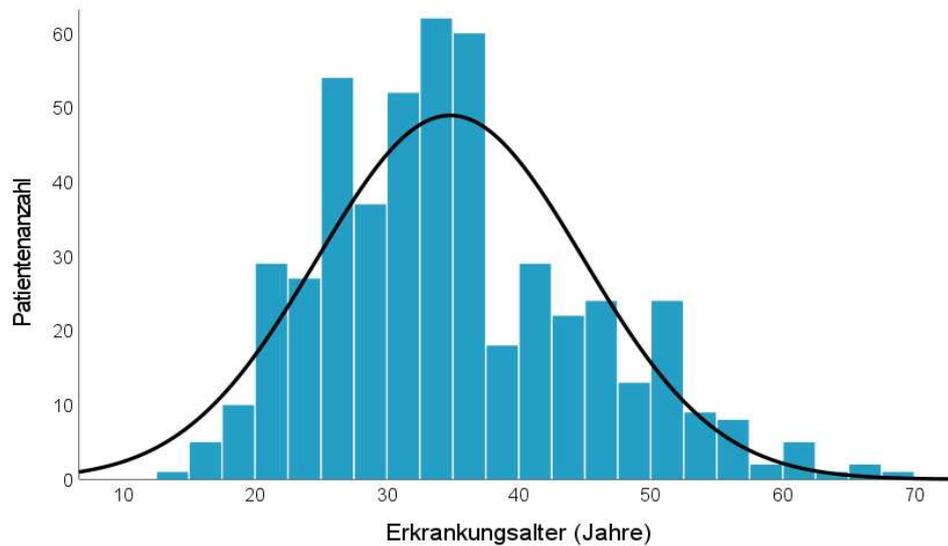


Abb. 7: Erkrankungsalter bei 495 Patienten mit Musikerkrampf

3.4 Instrumentenverteilung Musikerkrampf

Betrachtet man die Instrumentenverteilung innerhalb der Patienten mit Musikerkrampf, sind am häufigsten die Patienten betroffen, die ein Tasteninstrument (als Hauptvertreter die Pianisten) spielen. 59% der Musiker mit Musikerkrampf aus der Datenauswertung dieser vorliegenden Arbeit spielen ein Tasteninstrument. 21% der Musikerkrampfpatienten spielen ein Zupfinstrument, 13% ein Blasinstrument, 5% ein Saiteninstrument und 2% ein Schlaginstrument (siehe Abb. 8).

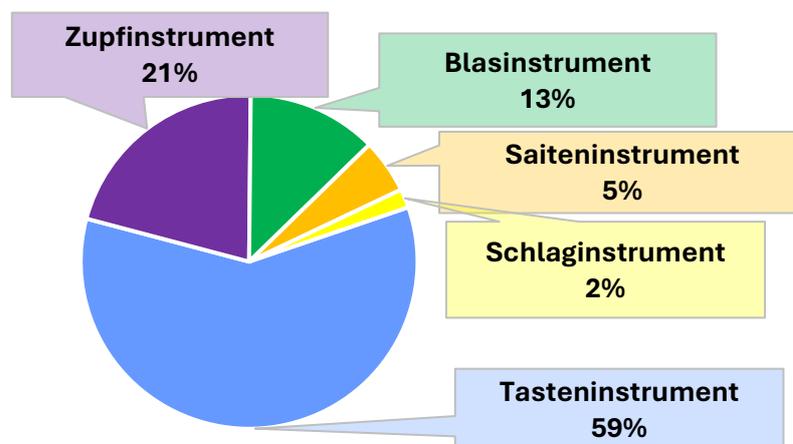


Abb. 8: Instrumentenverteilung bei Patienten mit Musikerkrampf

3.5 Zusammenhang der Händigkeit und des Geschlechtes

Musikerkrampf

	Männer	Frauen
Rechtshänder	246 (91,4%)	71 (94,7%)
Nicht-Rechtshänder	23 (8,6%)	4 (5,3%)

Tabelle 3: Händigkeit und Geschlecht innerhalb der Patienten mit Musikerkrampf

Innerhalb der Geschlechtergruppe der Patienten mit Musikerkrampf wurde geschaut, wie die Verteilung von Rechtshändern und Nicht-Rechtshändern aussieht. Bei den Männern waren von 269 erfassten Patienten 246 (91,4%) Rechtshänder und 23 (8,6%) Nicht-Rechtshänder. Bei den Frauen waren von insgesamt 75 Patientinnen 71 (94,7%) Rechtshänderinnen und 4 (5,3%) Nicht-Rechtshänderinnen.

Musikerkrampf und Allgemeinbevölkerung

Männer:

	Musikerkrampf	Allgemeinbevölkerung
Rechtshänder	91,4%	88,4%
Nicht-Rechtshänder	8,6%	11,6%

Tabelle 4: Händigkeit und Geschlecht- Vergleich Patienten mit Musikerkrampf vs. Allgemeinbevölkerung

Vergleicht man den Anteil an rechtshändigen und nicht-rechtshändigen Männern bei Patienten mit Musikerkrampf und der Allgemeinbevölkerung, so zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($X^2 = 2,4$; $df = 1$; $p = 0,118$).

Frauen:

	Musikerkrampf	Allgemeinbevölkerung
Rechtshänder	94,7%	90,5%
Nicht-Rechtshänder	5,3%	9,5%

Tabelle 5: Händigkeit und Geschlecht- Vergleich Patienten mit Musikerkrampf vs. Allgemeinbevölkerung

Vergleicht man den Anteil an rechtshändigen und nicht-rechtshändigen Frauen bei Patienten mit Musikerkrampf und der Allgemeinbevölkerung, so zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($X^2 = 1,5$; $df = 1$; $p = 0,218$).

Musikerkrampf und gesunde Musiker

Männer:

	Musikerkrampf	gesunde Musiker
Rechtshänder	91,4%	87,8%
Nicht-Rechtshänder	8,6%	12,2%

Tabelle 6: Händigkeit und Geschlecht- Vergleich Patienten mit Musikerkrampf vs. gesunde Musiker

Vergleicht man den Anteil an rechtshändigen und nicht-rechtshändigen Männern bei Patienten mit Musikerkrampf und bei gesunden Musikern, so zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($X^2 = 3,4$; $df = 1$; $p = 0,067$).

Frauen:

	Musikerkrampf	gesunde Musiker
Rechtshänder	94,7%	88,2%
Nicht-Rechtshänder	5,3%	11,8%

Tabelle 7: Händigkeit und Geschlecht- Vergleich Patienten mit Musikerkrampf vs. gesunde Musiker

Vergleicht man den Anteil an rechtshändigen und nicht-rechtshändigen Frauen bei Patientinnen mit Musikerkrampf und bei gesunden Musikerinnen, so zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($X^2 = 3,0$; $df = 1$; $p = 0,083$).

3.6 Zusammenhang der Händigkeit und der betroffenen Hand

Bei 581 Patienten mit Musikerkrampf wurde die symptomatische Hand angegeben.

Bei den rechtshändigen Patienten mit Musikerkrampf waren bei 410 (70,6%) Patienten die rechte Hand, bei 108 (18,6%) Patienten die linke Hand und bei 17 (2,9%) beide Hände betroffen.

Bei den nicht-rechtshändigen Patienten mit Musikerkrampf waren bei 23 (4,0%) Patienten die rechte Hand, bei 20 (3,4%) Patienten die linke Hand und bei 3 Patienten (0,5%) beide Hände betroffen.

3.7 Zusammenhang der Händigkeit und der Instrumentenverteilung

Die größten vertretenen Instrumentengruppen sind die Pianisten und Gitarristen. Unter diesen wurde die Händigkeitsverteilung berechnet.

Bei den Pianisten waren 90,7% Rechtshänder und 9,3% Nicht-Rechtshänder. Bei den Gitarristen waren 95,5% Rechtshänder und 4,5% Nicht-Rechtshänder.

4 Diskussion

Das Ziel dieser Arbeit war es mit Hilfe einer systematischen Übersichtsarbeit und Metaanalyse die Händigkeitverteilung innerhalb der Musikerkrampf-Population zu bestimmen und diese mit der Verteilung innerhalb der Allgemeinbevölkerung und mit der Verteilung bei gesunden Musikern zu vergleichen. Es wurden insgesamt 90 Artikel mit 762 Patienten mit Musikerkrampf untersucht. Dabei zeigte sich, dass bei den Patienten mit Musikerkrampf der Anteil der Rechtshänder im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung und auch im Vergleich zu gesunden Musikern signifikant höher war. Somit konnte die anfangs aufgestellte Hypothese bestätigt werden.

4.1 Händigkeit

In der vorliegenden Arbeit wurde erstmals in einer großen Kohorte von 762 Patienten mit Musikerkrampf die Verteilung der Händigkeit der Patienten untersucht. Was bereits in einer vorhergehenden Studie von Baur et al. 2011 untersucht wurde, war eine ähnliche, aber doch andere Fragestellung: Bauer und Kollegen untersuchten den Zusammenhang zwischen der Händigkeit und der von der Dystonie betroffenen Hand bei Patienten mit Musikerkrampf. In dieser Studie wurden 591 Patienten mit Musikerkrampf aus dem Datenkollektiv von 1994 bis 2007 aus dem Institut für Musikphysiologie und Musikermedizin in Hannover verglichen. Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass die durch die Händigkeit bedingte Belastung im Alltag Auswirkungen auf die Lokalisation (von der Musikerdystonie betroffenen Hand) habe. Das Ergebnis zeigte, dass der Anteil der Rechtshänder bei Patienten, bei denen die rechte Hand symptomatisch ist, größer ist als bei Patienten, bei denen die linke Hand symptomatisch ist. Bei Patienten, bei denen die rechte Hand von der Musikerdystonie betroffen war, waren es 92,4 % Rechtshänder und 7,6% Linkshänder. Bei Patienten, bei denen die linke Hand von der Dystonie betroffen ist, waren es 85,7% Rechtshänder und 14,3% Linkshänder (Baur et al., 2011). Die von Baur et al. 2011 aufgestellte Hypothese wurde somit bestätigt. In der vorliegenden Arbeit wurde ebenfalls der Zusammenhang zwischen der Händigkeit und der betroffenen Hand bei 581 Patienten untersucht. Es konnte in einer großen Kohorte in einem größeren Zeitraum von 1878 bis Dezember 2022 festgestellt und somit bestätigt werden, dass der Anteil der Rechtshänder bei Patienten, bei denen die rechte Hand von der Musikerdystonie betroffen ist, größer ist, als bei Patienten, bei denen die linke Hand betroffen ist.

Zudem ist es von Bedeutung den Unterschied der Händigkeit zwischen gesunden Musikern und der Allgemeinbevölkerung zu beachten. Bei gesunden Musikern liegt der Anteil von Nicht-Rechtshändern laut Aggleton et al. von 623 Musikern bei 12,2% (Aggleton et al., 1994) und in

der Allgemeinbevölkerung bei 10,6% (Papadatou-Pastou et al., 2020). Kopiez et al. stellten in ihrer Arbeit eine ähnliche Verteilung fest. Sie untersuchten 128 Musikstudenten und verglichen diese mit Nicht-Musikern. Die Inzidenz von Nicht-Rechtshändern betrug bei Musikern 30,8% und bei den Nicht-Musikern 21,7% (Kopiez et al., 2010). Die Frage, die sich daraus ergibt, ist, warum die Anzahl an Nicht-Rechtshändern bei Musikern höher ist als bei Nicht-Rechtshändern in der Allgemeinbevölkerung und ob das intensive Üben am Instrument im Laufe der Jahre die Händigkeit beeinflusst. Bei den Pianisten beispielsweise werden beide Hände zum Musizieren genutzt. Professionelle Musiker üben meistens mehrere Stunden am Tag. Es stellt sich dabei die Frage, ob ein Mensch, der im jungen Alter mit dem Musizieren beginnt und beispielsweise Rechtshänder ist, durch das intensive Musizieren nicht im Laufe der Zeit zum Links- oder Beidhänder wird. Was bereits durch andere Studien bekannt ist (z.B. Baur et al., 2011), ist, dass die dominante Hand eher vom Musikerkrampf betroffen ist. Man darf jedoch die Begriffe der „Händigkeit“ und der „betroffenen Hand“ nicht gleichsetzen. Eine Studie, in der spezifisch der Einfluss des Musizierens auf die Händigkeit untersucht wird, ist bis jetzt noch nicht vorhanden.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Zusammenhang der Händigkeit und des Geschlechtes beim Musikerkrampf verglichen. Die Geschlechterverteilung bei Patienten mit Musikerkrampf in der vorliegenden Arbeit zeigte einen höheren Anteil an Männern (74,3%) als Frauen (25,7%). Bei den gesunden Musikern waren insgesamt im Vergleich zu den Patienten mit Musikerkrampf der Anteil der Männer geringer und der Anteil von weiblichen gesunden Musikerinnen höher als bei Patienten mit Musikerkrampf (vgl. Aggleton et al., 1994).

Die Händigkeitsverteilung innerhalb der Geschlechtergruppen bei gesunden Musikern sind vergleichbar zu der Händigkeitsverteilung innerhalb der Geschlechtergruppen bei Patienten mit Musikerkrampf. Dies bedeutet, dass sowohl in der Gruppe der Patienten mit Musikerkrampf als auch bei gesunden Musikern jeweils der Anteil der Rechtshänder und Männer höher ist als der Anteil der Nicht-Rechtshänder und Frauen. Innerhalb der Allgemeinbevölkerung beträgt unter den Männern der Anteil von Rechtshändern 88,4% und der Anteil von Nicht-Rechtshändern beträgt 11,6%. Unter den Frauen beträgt der Anteil von Rechtshändern 90,5% und der Anteil von Nicht-Rechtshändern 9,5% (Papadatou-Pastou et al., 2020). Dementsprechend gibt es eine höhere Inzidenz an Nicht-Rechtshändern bei Männern. Papadatou-Pastou et al. führten eine Metaanalyse aus 14 Studien mit 1.787.629 Personen (831.537 Männern und 956.092 Frauen) durch, in der sie die Händigkeit bestimmten. In der Metaanalyse zeigte sich eine höhere Inzidenz an Linkshändern bei Männern mit einer Odds-Ratio von 1,23. Wenn man annehmen würde, dass der Anteil der Linkshändigkeit für Frauen 10% beträgt, dann würde der Anteil der Linkshändigkeit für Männer bei einer Odds Ratio von

1,23 12,3% betragen (Papadatou-Pastou et al., 2008). Eine 25%-ige höhere Inzidenz an Nicht-Rechtshändern bei Männern wurde ebenfalls in einer anderen Arbeit aus 43 Studien mit 241.573 Personen festgestellt (Sommer et al., 2008).

Vergleicht man die Gruppe des Musikerkrampfes, der Allgemeinbevölkerung und der gesunden Musiker so überwiegt in allen drei Gruppen der Anteil der Rechtshänder (siehe Tabelle 1). Einer der Gründe ist, dass insgesamt der Anteil der Rechtshänder in der Allgemeinbevölkerung größer ist als der Nicht-Rechtshänder (Papadatou-Pastou et al., 2020). So gibt es auch unter den Musikern insgesamt mehr Rechtshänder (Aggleton et al., 1994), sodass dies in gewissen Maßen den höheren Anteil an Rechtshändern bei Patienten mit Musikerkrampf erklärt. Stellt man die Anteile der Nicht-Rechtshänder der drei Gruppen gegenüber, so fällt auf, dass der größte Anteil von Nicht-Rechtshändern unter den gesunden Musikern mit 12,2% zu finden ist (siehe Tabelle 1). Und auch bereits vorhandene Studien zeigten, dass es unter den Musikern im Vergleich zu Nicht-Musikern einen höheren Anteil an Linkshändern gibt (z.B. Hassler und Gupta, 1993; Aggleton et al., 1994).

Diese Erkenntnis zeigt sich auch in dieser Arbeit, wenn man den Anteil der Nicht-Rechtshänder der gesunden Musiker (12,2%) und der Allgemeinbevölkerung (10,6%) vergleicht. Obwohl man davon ausgehen könnte, dass linkshändige Musiker durch die Instrumente, die meistens für Rechtshänder ausgelegt sind, einen Nachteil beim Musizieren haben könnten, wurde das Gegenteil berichtet. So zeigte ein linkshändiger Musiker in einer Einzelstudie eine bessere Anpassungsfähigkeit beim Musizieren (Jäncke et al., 2006). Ebenso zeigten sich beim Verwenden der nicht-dominanten Hand (Peter und Durdig, 1979; Kilshaw und Annett, 1983) bzw. beider Hände (Gorynia und Egenter, 2000) bei der Durchführung von motorischen Aufgaben im Vergleich zu Rechtshändern ein besseres Ergebnis. Eine Vermutung könnte sein, dass linkshändige Musiker durch das regelmäßige Trainieren der rechten Hand und dem alltäglichen Gebrauch der linken Hand besser koordiniert sind auch beide Hände oder auch die nicht-dominante Hand zu verwenden. Kopiez et al. untersuchten in einem Experiment, ob es bei Streichern und Pianisten zwischen Rechtshändern und Nicht-Rechtshändern beim Musizieren in Standardposition einen Unterschied bezüglich der musikalischen Leistung der Musiker gibt. Das Ergebnis zeigte, dass Linkshänder im Vergleich zu Rechtshändern keinen Nachteil hinsichtlich der musikalischen Leistung in Standardposition hatten. Zudem sei die rechte Hand sowohl bei Rechts- und Nicht-Rechtshändern präziser (Kopiez et al., 2012).

Die Ursache für die häufigere Linkshändigkeit unter Musikern ist noch nicht vollständig geklärt. Obwohl es unter den gesunden Musikern mehr Linkshänder gibt als in der Allgemein-

bevölkerung, sind bei Patienten mit Musikerkrampf weniger Linkshänder und mehr Rechtshänder von der Erkrankung betroffen. Eine Ursache könnte sein, dass erstens durch die höhere Anzahl an Rechtshändern, diese im Alltag ihre rechte Hand häufiger beanspruchen und durch das zusätzliche intensive Training am Instrument, die rechte Hand anfälliger ist für die Erkrankung. Eine zweite mögliche Erklärung dafür, dass Linkshänder seltener betroffen sind als Rechtshänder, könnte sein, dass Linkshänder im Alltag häufiger ihre linke Hand verwenden und beim Musizieren häufiger die rechte Hand, sodass die Beanspruchung gleichermaßen auf beide Hände verteilt werden. Ein weiterer wichtiger Grund könnte pathophysiologische Ursachen haben, welche im Folgenden näher erläutert werden.

4.2 Pathophysiologie

„Musizieren auf professionellem Niveau gehört zu den anspruchsvollsten menschlichen Tätigkeiten“ (Altenmüller et al., 2019). Denn beim Musizieren kommt es darauf an präzise abgestimmte bilaterale, unabhängige und teilweise auch synchrone Bewegungen durchzuführen (Bäumer et al., 2016). Um solche komplexen bimanuellen Bewegungsabläufe durchzuführen, bedarf es einer interhemisphärischen bzw. transkallosalen Vermittlung zwischen den beiden Gehirnhemisphären. Die Händigkeit, die in dieser Arbeit untersucht wurde, steht in Verbindung mit der Hirnlateralisierung und könnte einen indirekten Hinweis auf mögliche pathophysiologische Veränderungen beim Musikerkrampf geben. Neben den oben bereits genannten Gründen für mögliche Erklärungen des größeren Anteils an Rechtshändern beim Musikerkrampf im Vergleich zu gesunden Musikern und der Allgemeinbevölkerung, kann eine veränderte interhemisphärische Verbindung eine weitere mögliche Ursache sein. Man geht davon aus, dass gesunde Rechtshänder eine stärkere Lateralisierung aufweisen als Linkshänder (z.B. Pool et al., 2014). Linkshänder würden eine größere kallosale Fläche besitzen (Witelson, 1985) und nach der Theorie des exzitatorischen Modells würde dies eine größere Symmetrie und geringere Lateralität zwischen den Gehirnhemisphären bedeuten (Yazgan et al., 1995). Interessanterweise zeigte sich jedoch bei der aktionsinduzierten Dystonie (unter anderem auch dem Schreibkrampf, bei dem die Ergebnisse des Schreibkrampfs auf den Musikerkrampf übertragbar sind), dass trotz unilateraler Symptomatik beide Gehirnhemisphären betroffen sind, welche einen sehr bedeutsamen Punkt dieser Arbeit darstellt. Meunier et al. vermuteten, dass über eine interhemisphärische Interaktion die dominante Hemisphäre die nicht-dominante Hemisphäre beeinflusst (Meunier et al., 2001). Den höheren Anteil an Rechtshändern bei Patienten mit Musikerkrampf könnte man auf eine stärkere Lateralisierung der motorischen Funktionen zurückführen, die aufgrund der komplexen Handbewegungen beim Musizieren eine verstärkte interhemisphärische Interaktion benötigen. Ein weiterer Hinweis, dass die

interhemisphärische Interaktion und die bilaterale Beteiligung bei der fokalen Dystonie eine wichtige Rolle spielt, ist die sogenannte „*mirror dystonia*“. Bei der „*mirror dystonia*“ kommt es bei Bewegung der nicht betroffenen Seite zur dystonen Symptomatik der betroffenen Hand. Sattler et al. vermuten, dass durch eine Veränderung der interhemisphärischen Interaktion beide Hemisphären betroffen sind und sogenannte „Spiegelbewegungen“ auslösen (Sattler et al., 2014). Dies wurde ebenfalls in einer anderen Studie bei 5% der Patienten mit Schreibkrampf beobachtet. Zudem entwickelten in dieser Studie 25% der Schreibkrampfpatienten beim Schreiben mit der nicht betroffenen Seite im Verlauf eine Dystonie der nicht betroffenen Seite (Sheehy et al., 1988).

In einigen Studien wurde bereits gezeigt, dass gesunde Musiker eine veränderte Größe des *Corpus callosum* (am ehesten eine größere kallosale Fläche) (Piccirilli et al., 2021) besitzen und eine reduzierte interhemisphärische Inhibition (z.B. Ridding et al., 2000) aufzeigen. Studien zur interhemisphärischen Interaktion bei Patienten mit Musikerkrampf gibt es kaum. Beim Schreibkrampf gibt es bereits mittels TMS Hinweise, dass die interhemisphärische Interaktion zwischen den beiden motorischen Kortexen verändert ist (Niehaus et al., 2001).

Des Weiteren ist bekannt, dass die fingerrepräsentierenden Areale im motorischen und sensorischen Cortex bei der fokalen Dystonie vergrößert sind und überlappen (z.B. Nelson et al., 2009). Es wurde gezeigt, dass beispielsweise repetitive Bewegungen der Hand zur Vergrößerung und damit auch zur Überlappung und Reorganisation des betroffenen Handareals führt (Byl et al., 1996). Eine weitere Hypothese, die sich daraus ergibt, ist, dass je größer das beanspruchte Areal ist, desto größer der Bedarf an interhemisphärischer Interaktion und desto größer ist das Risiko einen Musikerkrampf zu entwickeln. Schaut man sich sowohl den motorischen und als auch den sensorischen Homunculus an, so wird deutlich, dass neben dem Handareal das Areal der Lippen und des Larynx einen großen Anteil des Homunculus einnehmen (Gordon et al., 2023). Dies würde zu der Gegebenheit passen, dass unter dem Musikerkrampf häufig neben der Handdystonie die oromandibuläre Dystonie auftritt (Albanese et al., 2013).

Insgesamt wird demnach vermutet, dass Patienten mit Musikerkrampf eine veränderte interhemisphärische Interaktion aufweisen.

4.3 Geschlechterverteilung

In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass die Geschlechterverteilung der Musikerkrampfpatienten sich signifikant zur Allgemeinbevölkerung und zu gesunden Musikern unterscheidet.

Es konnte in einer bisher größten Kohorte von 719 Patienten nachgewiesen werden, dass es unter den Musikerkrampf-Patienten mehr männliche Patienten als weibliche Patientinnen gibt. Dies wurde bereits in vorherigen Studien berichtet. So stellten Lim et al. tabellarisch eine Zusammenfassung von fünf verschiedenen Arbeiten dar, bei denen die Stichprobengröße mehr als 20 Patienten betrug. Im Durchschnitt war das Verhältnis der Geschlechterverteilung 2:1 (Männer : Frauen). Zudem untersuchten sie in einer großen Studie mit 183 Musikern mit Musikerkrampf über einen Zeitraum von sieben Jahren die Instrumenten- und Geschlechterverteilung. Auch in dieser Studie konnte eine Überrepräsentation mit 154 männlichen Patienten und 29 weiblichen Patientinnen nachgewiesen werden (Lim et al., 2003). Eine mögliche Erklärung für die höhere Anzahl an männlichen Patienten könnte sein, dass männliche und weibliche Musikerinnen ein unterschiedliches Übungsverhalten aufzeigen (Passarotto et al., 2023; Doll-Lee et al., 2024). Passarotto und Kollegen stellten in ihrer Arbeit bei gesunden männlichen Pianisten fest, dass diese ihre Übungszeit im Alter von ca. 20 Jahren signifikant erhöhten (Passarotto et al., 2023). Es wird vermutet, dass bis zum Eintritt in die Universität (ca. im Alter von 20 Jahren) weibliche Musikerinnen eine höhere Übungszeit vorweisen, diese jedoch im Verlauf linear steigern, wohingegen männliche Musiker diese bei Eintritt in die Universität drastisch erhöhen. Die lineare Steigerung der Übungszeit stellt womöglich ein protektives Verhalten dar und könnte die Krankheitsentstehung vorbeugen (Passarotto et al., 2023; Doll-Lee et al., 2024). Ein weiterer Unterschied könnte auch das kompetitivere Verhalten der Männer sein, welches vor allem in den Sportwissenschaften gezeigt wurde (z.B. Deaner et al., 2013). Des Weiteren gibt es Hinweise, dass das Übungsverhalten bei Männern auch stärker von der extrinsischen Motivation abhängt (Li, 1999). Das kompetitive Verhalten und die extrinsische Motivation könnte die signifikante Erhöhung der Übungszeit zu Beginn der Studienzeit, zum Beispiel unter dem Konkurrenzkampf zwischen gleichaltrigen Kommilitonen, erklären (Doll-Lee et al., 2024). Ein weiterer Grund ist, dass es in einigen Instrumentengruppen wie beispielsweise bei Gitarristen mehr Männer als Frauen gibt (Brandfonbrener et al., 2004) und folgerichtig die Anzahl der männlichen Patienten mit Musikerkrampf überwiegt.

Neben den bereits genannten Punkten können ebenfalls pathophysiologische Faktoren eine wichtige Rolle bei der Geschlechterverteilung innerhalb der Patienten mit Musikerkrampf spielen. Es wurde ein Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und der Hirnasymmetrie beobachtet (Hausmann, 2017). Man geht davon aus, dass gesunde Männer im Allgemeinen eine stärkere Lateralisierung aufweisen als Frauen (z.B. Liu et al., 2009). Dies wird beispielsweise darauf zurückgeführt, dass das *Corpus callosum* bei Frauen größer und die sogenannte interhemisphärische Übertragungszeit symmetrischer sei als bei Männern (Nowicka und Fersten,

2001). Wie bereits erwähnt, wurde in der Studie von Meunier et al. gezeigt, dass trotz unilateraler Symptomatik beide Hemisphären betroffen sind (Meunier et al., 2001). So könnte man bei Patienten mit Musikerkrampf mit einem höheren Anteil an männlichen Patienten davon ausgehen, dass beim Musikerkrampf eine veränderte interhemisphärische Interaktion vorliegt.

4.4 Erkrankungsalter

In dieser Arbeit konnte in einer größeren Kohorte nachgewiesen werden, dass das mittlere Erkrankungsalter der Patienten mit Musikerkrampf $34,8 \pm 10$ Jahre betrug (siehe Abb. 7).

In bereits anderen veröffentlichten Arbeiten konnte ein ähnliches Ergebnis gezeigt werden (siehe z.B. Rozanski et al., 2015). So wiesen Rozanski et al. 2015 in einer systematischen Übersichtsarbeit mit 16 inkludierten Studien zum Musikerkrampf bei professionellen Musikern nach, dass das mittlere Erkrankungsalter in den untersuchten Studien zwischen 28 und 44 Jahren lag. Zudem gäbe es einen geschlechterspezifischen Unterschied im Manifestationsalter des Musikerkrampfes. Das Erkrankungsalter würde stark variieren mit dem jüngsten Patienten mit 18 Jahren und dem ältesten Patienten um das 60. Lebensjahr (Rozanski et al., 2015; Altenmüller, 2003). In der vorliegenden Arbeit zeigten sich während der Literaturrecherche in Einzelfällen auch Patienten, die jünger als 18 und älter als 60 Jahre alt waren. Äußere Faktoren wie vermehrter Stress und Angstzustände würden dazu führen, dass Musiker im Durchschnitt zehn Jahre früher erkranken als andere Patienten (Ioannou et al., 2016). Ioannou et al. erwähnten, dass diese äußeren Stressfaktoren langfristig Auswirkungen auf die motorische Funktion haben können. Dies wiederum könnte den Musikerkrampf auslösen oder bei bestehender Erkrankung den Krankheitsverlauf beschleunigen (Ioannou et al., 2016). Außerdem spiele das Alter, indem das Musizieren begonnen wurde, ebenfalls eine wichtige Rolle. Altenmüller und Furuya vermuteten, dass je früher das musikalische Training begonnen wird, desto geringer das Risiko sei einen Musikerkrampf zu entwickeln. Sie gehen davon aus, dass das frühe Musizieren sensomotorisch stabilisierend wirkt und dahingehend neuroprotektiv auf die Entwicklung eines Musikerkrampfes (Altenmüller und Furuya, 2017). Das zeigt auch, dass das Durchschnittsalter bei Ausbildungsbeginn bei gesunden Musikern mit sieben Jahren früher ist als das Durchschnittsalter bei Musikern mit einer Dystonie mit zehn Jahren (Schmidt et al., 2013).

Vergleicht man das Erkrankungsalter des Musikerkrampfes von $34,8 \pm 10$ Jahren mit anderen Formen der Bewegungsstörungen wie dem *Morbus Parkinson* mit einem mittleren Erkrankungsalter von 50-60 Jahren, erkranken Patienten mit Musikerkrampf durchschnittlich relativ früh. Dies könnte möglicherweise im Zusammenhang mit dem hohen Leistungsdruck,

Stress, Angst und Perfektionismus zusammenhängen, welchen den frühen Erkrankungsbeginn beschleunigt bzw. begünstigt (vgl. Ioannou et al., 2016).

4.5 Instrumentenverteilung

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass unter den Musikerkrampf-Patienten die zwei am häufigsten vertretenen Instrumentengruppen die Tasten- und Zupfinstrumente sind. Aus der Gruppe der Tasteninstrumente sind am häufigsten vertreten die Pianisten und unter den Zupfinstrumenten die Gitarristen. Ein Grund dafür ist, dass das Piano und die Gitarre die am häufigsten gespielten Instrumente sind (Ruth und Müllensiefen, 2021). Rozanski et al. zeigten in ihrer systematischen Übersichtsarbeit ebenfalls, dass die am häufigsten vertretenen Instrumentengruppen die Tasten- und Zupfinstrumente sind (Rozanski et al., 2015). Es gibt außerdem einen Zusammenhang zwischen der Instrumentengruppe und der Lokalisation des Musikerkrampfes. Jedes Instrument erfordert ein unterschiedliches Maß an Komplexität. Die Hand, die am stärksten genutzt wird, ist auch am häufigsten betroffen. Vor allem Pianisten und Gitarristen seien am häufigsten in der rechten Hand betroffen, da die rechte Hand beim Musizieren mit diesen Instrumenten stärker beansprucht sei (Altenmüller und Jabusch, 2010).

4.6 Vergleich Musikerkrampf und Schreibkrampf

Der Musikerkrampf und der Schreibkrampf sind die häufigsten Formen der fokalen Handdystonie (Altenmüller et al., 2010). Beim Schreibkrampf kommt es beim Schreiben zu unwillkürlichen Krämpfen der Hand, des Unterarms beziehungsweise des Oberarms. Die Symptomatik des Schreibkrampfes kann sich im Verlaufe ausbreiten und kann auch durch andere Aktivitäten, außer dem Schreiben, hervorgerufen werden. Außerdem kann es auch die nicht-dominante Hand betreffen (Stahl und Frucht, 2017). Sowohl der Musiker- als auch der Schreibkrampf gehören beide zu den tätigkeitsspezifischen Dystonien und zeigen eine ähnliche Pathophysiologie auf.

Betrachtet man die Händigkeitverteilung bei Schreibkrampfpatienten, so zeigt sich eine Verteilung von 96,1% Rechtshändern und 3,9% Nicht-Rechtshändern (Alici et al., 2024). Im Vergleich zu den Musikerkrampfpatienten zeigt sich hier ein höherer Anteil von Rechtshändern.

Alici et al. verglichen die Händigkeitverteilung ebenfalls zwischen den Schreibkrampfpatienten und der Allgemeinbevölkerung. Es zeigte sich hierbei ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Untersuchungsgruppen. Der Anteil der Rechtshänder in der Schreibkrampf-Population war höher als in der Allgemeinbevölkerung.

Die Geschlechterverteilung bei Patienten mit Schreibkrampf betrug 57,7% männliche Patienten und 42,3% weibliche Patientinnen (Alici et al., 2024). Im Vergleich zu der Geschlechterverteilung bei Patienten mit Musikerkrampf zeigt sich bei Patienten mit Musikerkrampf ein höherer Anteil an männlichen Patienten als bei Schreibkrampfpatienten.

Insgesamt zeigten sich sowohl beim Schreib- als auch beim Musikerkrampf ein höherer Anteil von Rechtshändern und Männern. Betrachtet man die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zum Musikerkrampf und die Ergebnisse zur Händigkeit- und Geschlechterverteilung beim Schreibkrampf, so bestärkt es die Annahme, dass bei Patienten mit fokaler Dystonie eine veränderte interhemisphärische Interaktion vorherrschen könnte. Bereits vergangene Studien über den Schreibkrampf geben diesbezüglich Hinweise hierzu. Neben der bereits erwähnten Studie von Meunier et al., wurde gezeigt, dass durch eine verringerte intrakortikale Hemmung (Ridding et al., 1995) und verkürzte kortikale Ruhephase (Rona et al., 1998) beide Hemisphären trotz unilateraler Symptomatik beim Schreibkrampf betroffen sind (Meunier et al., 2001).

4.7 Limitationen der Arbeit

Einer der wichtigen Limitationen der Arbeit sind die unterschiedlichen Testverfahren, die in den untersuchten Artikeln zur Erfassung der Händigkeit verwendet wurden. In den untersuchten Artikeln dieser vorliegenden Arbeit wurde zur Erfassung der Händigkeit am häufigsten der *Edinburgh Handedness Inventory (EHI)* verwendet. Beim *EHI* werden verschiedene Tätigkeiten (wie z.B. Schreiben, Verwendung der Zahnbürste) abgefragt und die Probanden können angeben, welche Hand bei der jeweiligen Tätigkeit präferiert wird oder ob keine Hand präferiert wird (Oldfield, 1971). Es gibt jedoch einige Artikel, in denen die Patienten selber berichteten, ob sie Rechtshänder, Linkshänder oder Ambidexter sind. In diesem Falle wurde die Händigkeit nach der Eigeneinschätzung beurteilt. Es ist jedoch nicht eindeutig nach welchen genauen Kriterien die Patienten ihre Händigkeit bewerteten. Nach großer Wahrscheinlichkeit gaben die Patienten bei der Selbsteinschätzung die Hand an, die sie im Alltag häufiger verwenden. Darunter würden dann auch einige Kriterien des *EHI*-Tests fallen. Wenn man jedoch bei allen Patienten die Händigkeit mit dem *EHI*-Test bewerten würde, hätte man einen einheitlichen Maßstab. Zudem ist es im Allgemeinen nicht möglich, zurückzuverfolgen, ob bei den eingeschlossenen Patienten im Verlauf ein Umlernen von der einen Hand auf die andere Hand erfolgt ist. Es ist möglich, dass bei einigen durch kulturellen oder sozialen Druck ein Umlernen von der linken auf die rechte Hand erfolgt ist. In einigen Kulturen wird es präferiert, vermehrt die rechte Hand zu nutzen. Als Beispiel haben Fagard und Dahmen eine Studie durchgeführt, bei der sie die Händigkeit bei tunesischen und französischen Kindern verglichen haben. Sie verglichen zum einen tunesische Kinder, die bevorzugt beispielsweise beim Essen

die rechte Hand verwendeten und Kinder aus Frankreich, die beim Essen entweder die linke oder rechte Hand verwenden durften. Eines der Ergebnisse war, dass der Anteil der Linkshänder bei den tunesischen Kindern geringer war als bei den französischen Kindern. Dies ist ein Hinweis darauf, dass der kulturelle Hintergrund Einfluss auf die Händigkeit haben kann (Fagard und Dahmen, 2004). Es ist daher nicht eindeutig zurückzufolgern, ob die Händigkeit bei den eingeschlossenen Patienten in der vorliegenden Arbeit durch äußere Einflüsse nicht umgelernt wurde.

Eine weitere Limitation der vorliegenden Arbeit ist, dass der Großteil der Händigkeitsdaten aus Deutschland und den USA stammen. Das liegt unter anderem daran, dass während der Literaturrecherche nur Artikel mit deutscher und englischer Sprache miteinbezogen wurden. Artikel anderer Sprachen und damit auch weitere Händigkeitsdaten aus anderen Ländern beziehungsweise Kontinenten wie die restlichen Länder Europas, Australien, Asien, Afrika und Südamerika fehlen somit. Da kulturelle und religiöse Aspekte bezüglich Händigkeit eine wichtige Rolle spielen, ist es möglich, dass sich die Händigkeitsverteilung in anderen Ländern geringfügig unterscheidet.

Zudem ist eine Limitation, dass sich die Definition und auch Klassifikation der Dystonie durch weitere Forschungsergebnisse über die Jahre stetig weiterentwickelt (Albanese et al., 2013). Da einige ältere Artikel dieser Arbeit teilweise von den Jahren vor 1950 stammen, ist es möglich, dass die Definition beziehungsweise die Diagnosestellung der Dystonie zu dieser Zeit eine andere war.

In der vorliegenden Arbeit wurde auch der Status der Musiker erfasst. Es wurde geschaut, ob die Patienten mit Musikerkrampf professionelle Musiker, semiprofessionelle Musiker, Amateure oder Studenten sind. Die meisten der erfassten Patienten waren professionelle Musiker. Es gab allerdings innerhalb der Patientenkohorte auch wenige nicht-professionelle Musiker. Daher handelt es sich nicht um eine reine Patientenkohorte mit ausschließlich professionellen Musikern.

Beim Überprüfen der Artikel wurden einige Patienten aus den gleichen Instituten rekrutiert. Damit die Patienten nicht mehrfach in die Datenauswertung miteinbezogen werden, wurden vor allem im Methodenteil der eingeschlossenen Artikel darauf geachtet, ob vermerkt wurde, dass die Patienten schon einmal eingeschlossen wurden. Zudem wurde manuell bei Artikeln mit zeitnahen Veröffentlichungsdatum mit Rekrutierung aus dem gleichen Institut verglichen, ob identische Patienten verwendet wurden. Dabei wurden die Tabellen, in denen das Geschlecht, Alter und die Händigkeit genauer beschrieben wurden, verglichen und identische Patienten aus

anderen Artikeln rausgenommen. Da in einigen Artikeln durch die Autoren nicht angegeben wurde ob diese dieselbe Patientenkohorte nicht schon bereits in anderen Studien verwendet haben, können Überschneidungen nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

4.8 Ausblick

Die Händigkeitverteilung bei Patienten mit Musikerkrampf unterscheidet sich sowohl von der Händigkeitverteilung der Allgemeinbevölkerung als auch von den gesunden Musikern. Die Hypothese, dass der Anteil der Nicht-Rechtshänder bei Patienten mit Musikerkrampf geringer ist als in der Allgemeinbevölkerung und bei gesunden Musikern, konnte bestätigt werden. Es stellt sich hierbei also die hypothetische Frage, ob Linkshändigkeit eine protektive Wirkung aufzeigt. Im Umkehrschluss würde dies bedeuten, dass Rechtshändigkeit ein Risikofaktor für die Entwicklung des Musikerkrampfes darstellen würde. Daraus würde sich wiederum die Fragestellung ergeben, ob es durch das Umlernen der Händigkeit möglich wäre, das Risiko für die Entwicklung eines Musikerkrampfes zu senken. Zudem wäre es aufschlussreich die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit mit der Händigkeitverteilung bei anderen Formen der Bewegungsstörungen (wie zum Beispiel beim *Morbus Parkinson*) zu vergleichen.

Es gibt bereits einige Arbeiten zu der Häufigkeit der betroffenen Hand beim Musikerkrampf in den jeweiligen Instrumentengruppen. Allerdings wäre es wissenswert, die Händigkeit gezielter in den einzelnen Instrumentengruppen durch experimentelle oder prospektive klinische Studien zu untersuchen. Dies könnte ein genaueres Verständnis für die Pathophysiologie in den einzelnen Instrumentengruppen liefern.

Wenn man davon ausgeht, dass eine veränderte interhemisphärische Interaktion bei Musikerkrampfpatienten vorliegen könnte, kann man bildgebende Verfahren nutzen, um den Zusammenhang der Händigkeit und der interhemisphärische Interaktion in einer großen Kohorte von Musikerkrampfpatienten bildmorphologisch darzustellen und zu messen. Man könnte hier zum einen Patienten mit Musikerkrampf und gesunde Musiker in ihren jeweiligen Instrumentengruppen ein Musikstück vorspielen lassen und dabei die Hirnaktivität in den jeweiligen Hemisphären messen und vergleichen. Zudem könnte man die Hirnaktivität der drei Gruppen (Patienten mit Musikerkrampf, gesunde Musiker und der Allgemeinbevölkerung) aufgeteilt in Rechtshänder und Nicht-Rechtshänder einzeln betrachten und Aufgaben mit der jeweiligen Hand ausführen lassen und vergleichen.

Bei einer veränderten interhemisphärischen Interaktion wäre es wichtig zu schauen welche präventiven Maßnahmen und therapeutische Erkenntnis man dadurch gewinnen kann.

Möglicherweise könnte man durch das Trainieren beziehungsweise die Entlastung der jeweils anderen Hand eine protektive Wirkung erzielen.

4.9 Schlussfolgerung

In dieser Arbeit wurde erstmals die Händigkeit bei Patienten mit Musikerkrampf betrachtet. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass bei Patienten mit Musikerkrampf der Anteil der Rechtshänder höher und der Anteil der Nicht-Rechtshänder geringer ist als in der Allgemeinbevölkerung und bei gesunden Musikern. Die Vermutung ist, dass bei Patienten mit Musikerkrampf eine, im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung und gesunden Musikern, veränderte interhemisphärische Interaktion vorliegen könnte. Diese veränderte interhemisphärische Interaktion könnte das Risiko der Entwicklung eines Musikerkrampfes erhöhen.

5 Literaturverzeichnis

- Aboitiz F, Scheibel AB, Fisher RS, Zaidel E. Fiber composition of the human corpus callosum. *Brain Res.* 1992 Dec 11;598(1-2):143-53. doi: 10.1016/0006-8993(92)90178-c. PMID: 1486477.
- Addamo PK, Farrow M, Hoy KE, Bradshaw JL, Georgiou-Karistianis N. The effects of age and attention on motor overflow production--A review. *Brain Res Rev.* 2007 Apr;54(1):189-204. doi: 10.1016/j.brainresrev.2007.01.004. Epub 2007 Jan 20. PMID: 17300842.
- Aggleton, John P., Robert W. Kentridge, and James MM Good. "Handedness and musical ability: A study of professional orchestral players, composers, and choir members." *Psychology of Music* 22.2 (1994): 148-156. doi: 10.1177/0305735694222004.
- Albanese A, Bhatia K, Bressman SB, DeLong MR, Fahn S, Fung VS, Hallett M, Jankovic J, Jinnah HA, Klein C, Lang AE, Mink JW, Teller JK. Phenomenology and classification of dystonia: a consensus update. *Mov Disord.* 2013 Jun 15;28(7):863-73. doi: 10.1002/mds.25475. Epub 2013 May 6. PMID: 23649720; PMCID: PMC3729880.
- Albanese A, Romito LM, Calandrella D. Therapeutic advances in dystonia. *Mov Disord.* 2015 Sep 15;30(11):1547-56. doi: 10.1002/mds.26384. Epub 2015 Aug 24. PMID: 26301801.
- Albrecht P, Jansen A, Lee JI, Moll M, Ringelstein M, Rosenthal D, Bigalke H, Aktas O, Hartung HP, Heftner H. High prevalence of neutralizing antibodies after long-term botulinum neurotoxin therapy. *Neurology.* 2019 Jan 1;92(1):e48-e54. doi: 10.1212/WNL.0000000000006688. Epub 2018 Nov 21. Erratum in: *Neurology.* 2022 Feb 22;98(8):341. doi: 10.1212/WNL.0000000000013258. PMID: 30464031.
- Alici S, Ouennane S, Tiihonen M, Butz M. The Link between Handedness and Prevalence of Writer's Cramp – A Systematic Literature Review [abstract]. *Mov Disord.* 2023; 38 (suppl 1). <https://www.mdsabstracts.org/abstract/the-link-between-handedness-and-prevalence-of-writers-cramp-a-systematic-literature-review/>.
- Altenmüller E, Furuya S (2017): Apollos Fluch und Segen: Musizieren als Neuroplastizitätsmotor. *Neuroforum* 23: 76–95
- Altenmüller E, Ioannou CI, Lee A. Apollo's curse: neurological causes of motor impairments in musicians. *Prog Brain Res.* 2015;217:89-106. doi: 10.1016/bs.pbr.2014.11.022. Epub 2015 Jan 31. PMID: 25725911.
- Altenmüller E, Jabusch HC. Focal dystonia in musicians: phenomenology, pathophysiology, triggering factors, and treatment. *Med Probl Perform Art.* 2010 Mar;25(1):3-9. PMID: 20795373.
- Altenmüller E. Focal dystonia: advances in brain imaging and understanding of fine motor control in musicians. *Hand Clin.* 2003 Aug;19(3):523-38, xi. doi: 10.1016/s0749-0712(03)00043-x. PMID: 12945651.

- Altenmüller, E., & Furuya, S. (2017). Apollos gift and curse: Making music as a model for adaptive and maladaptive plasticity. *e-Neuroforum*, 23(2), 57-75.
- Amunts K, Lenzen M, Friederici AD, Schleicher A, Morosan P, Palomero-Gallagher N, Zilles K. Broca's region: novel organizational principles and multiple receptor mapping. *PLoS Biol.* 2010 Sep 21;8(9):e1000489. doi: 10.1371/journal.pbio.1000489. PMID: 20877713; PMCID: PMC2943440.
- Amunts K, Schlaug G, Jäncke L, Steinmetz H, Schleicher A, Dabringhaus A, Zilles K. Motor cortex and hand motor skills: structural compliance in the human brain. *Hum Brain Mapp.* 1997;5(3):206-15. doi: 10.1002/(SICI)1097-0193(1997)5:3<206::AID-HBM5>3.0.CO;2-7. PMID: 20408216.
- Amunts K, Schlaug G, Schleicher A, Steinmetz H, Dabringhaus A, Roland PE, Zilles K. Asymmetry in the human motor cortex and handedness. *Neuroimage.* 1996 Dec;4(3 Pt 1):216-22. doi: 10.1006/nimg.1996.0073. PMID: 9345512.
- Annett M. Non-right-handedness and schizophrenia. *Br J Psychiatry.* 2002 Oct;181:349-50. doi: 10.1192/bjp.181.4.349. Erratum in: *Br J Psychiatry.* 2003 Jul;183:80. PMID: 12356665.
- Bara-Jimenez W, Catalan MJ, Hallett M, Gerloff C. Abnormal somatosensory homunculus in dystonia of the hand. *Ann Neurol.* 1998 Nov;44(5):828-31. doi: 10.1002/ana.410440520. PMID: 9818942.
- Bäumer T, Schmidt A, Heldmann M, Landwehr M, Simmer A, Tönniges D, Münte T, Lohmann K, Altenmüller E, Klein C, Münchau A. Abnormal interhemispheric inhibition in musician's dystonia - Trait or state? *Parkinsonism Relat Disord.* 2016 Apr;25:33-8. doi: 10.1016/j.parkreldis.2016.02.018. Epub 2016 Feb 20. PMID: 26923523; PMCID: PMC6149539.
- Baur V, Jabusch HC, Altenmüller E. Behavioral factors influence the phenotype of musician's dystonia. *Mov Disord.* 2011 Aug 1;26(9):1780-1. doi: 10.1002/mds.23654. Epub 2011 Mar 21. PMID: 21425344.
- Beck S, Richardson SP, Shamim EA, Dang N, Schubert M, Hallett M. Short intracortical and surround inhibition are selectively reduced during movement initiation in focal hand dystonia. *J Neurosci.* 2008 Oct 8;28(41):10363-9. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3564-08.2008. PMID: 18842895; PMCID: PMC4757491.
- Bloom JS, Hynd GW. The role of the corpus callosum in interhemispheric transfer of information: excitation or inhibition? *Neuropsychol Rev.* 2005 Jun;15(2):59-71. doi: 10.1007/s11065-005-6252-y. PMID: 16211466.
- Braun C, Schweizer R, Heinz U, Wiech K, Birbaumer N, Topka H. Task-specific plasticity of somatosensory cortex in patients with writer's cramp. *Neuroimage.* 2003 Oct;20(2):1329-38. doi: 10.1016/S1053-8119(03)00375-6. PMID: 14568501.
- Butler K, Rosenkranz K. Focal hand dystonia affecting musicians. Part II: an overview of current rehabilitative treatment techniques. *J Hand Ther (UK).* 2006;11(3):79-87.
- Butz M, Timmermann L, Gross J, Pollok B, Dirks M, Hefter H, Schnitzler A. Oscillatory coupling in writing and writer's cramp. *J Physiol Paris.* 2006 Jan;99(1):14-20. doi: 10.1016/j.jphysparis.2005.06.003. Epub 2005 Jul 18. PMID: 16026973.

- Byl N, Hamati D, Melnick M, Wilson F, McKenzie A. The sensory consequences of repetitive strain injury in musicians: focal dystonia of the hand. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 1996 Jan 1;7(1):27-39. doi: 10.3233/BMR-1996-7105. PMID: 24572553.
- Byl NN, Merzenich MM, Jenkins WM. A primate genesis model of focal dystonia and repetitive strain injury: I. Learning-induced dedifferentiation of the representation of the hand in the primary somatosensory cortex in adult monkeys. *Neurology.* 1996 Aug;47(2):508-20. doi: 10.1212/wnl.47.2.508. PMID: 8757029.
- Byrnes ML, Thickbroom GW, Wilson SA, Sacco P, Shipman JM, Stell R, Mastaglia FL. The corticomotor representation of upper limb muscles in writer's cramp and changes following botulinum toxin injection. *Brain.* 1998 May;121 (Pt 5):977-88. doi: 10.1093/brain/121.5.977. PMID: 9619198.
- Candia V, Schäfer T, Taub E, Rau H, Altenmüller E, Rockstroh B, Elbert T. Sensory motor retuning: a behavioral treatment for focal hand dystonia of pianists and guitarists. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002 Oct;83(10):1342-8. doi: 10.1053/apmr.2002.35094. PMID: 12370865.
- Candia V, Wienbruch C, Elbert T, Rockstroh B, Ray W. Effective behavioral treatment of focal hand dystonia in musicians alters somatosensory cortical organization. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2003 Jun 24;100(13):7942-6. doi: 10.1073/pnas.1231193100. Epub 2003 May 27. PMID: 12771383; PMCID: PMC164692.
- Chang FC, Frucht SJ. Motor and Sensory Dysfunction in Musician's Dystonia. *Curr Neuropharmacol.* 2013 Jan;11(1):41-7. doi: 10.2174/157015913804999531. PMID: 23814536; PMCID: PMC3580790.
- Chen R, Gerloff C, Hallett M, Cohen LG. Involvement of the ipsilateral motor cortex in finger movements of different complexities. *Ann Neurol.* 1997 Feb;41(2):247-54. doi: 10.1002/ana.410410216. PMID: 9029074.
- Chiken S, Nambu A. Disrupting neuronal transmission: mechanism of DBS? *Front Syst Neurosci.* 2014 Mar 14;8:33. doi: 10.3389/fnsys.2014.00033. PMID: 24672437; PMCID: PMC3954233.
- Civardi C, Cavalli A, Naldi P, Varrasi C, Cantello R. Hemispheric asymmetries of cortico-cortical connections in human hand motor areas. *Clin Neurophysiol.* 2000 Apr;111(4):624-9. doi: 10.1016/s1388-2457(99)00301-6. PMID: 10727913.
- Cohen LG, Hallett M, Geller BD, Hochberg F. Treatment of focal dystonias of the hand with botulinum toxin injections. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1989 Mar;52(3):355-63. doi: 10.1136/jnnp.52.3.355. PMID: 2926421; PMCID: PMC1032411.
- Cohen LG, Hallett M. Hand cramps: clinical features and electromyographic patterns in a focal dystonia. *Neurology.* 1988 Jul;38(7):1005-12. doi: 10.1212/wnl.38.7.1005. PMID: 3386815.
- Comoletti S, Mercogliano C. Focal dystonia in musicians, a literature review. *J Hand Ther.* 2024 Jun 27:S0894-1130(24)00024-3. doi: 10.1016/j.jht.2024.02.011. Epub ahead of print. PMID: 38942654.
- Conti AM, Pullman S, Frucht SJ. The hand that has forgotten its cunning--lessons from musicians' hand dystonia. *Mov Disord.* 2008 Jul 30;23(10):1398-406. doi: 10.1002/mds.21976. PMID: 18398917.

- Corballis MC. The evolution and genetics of cerebral asymmetry. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2009 Apr 12;364(1519):867-79. doi: 10.1098/rstb.2008.0232. PMID: 19064358; PMCID: PMC2666079.
- Corey DM, Hurley MM, Foundas AL. Right and left handedness defined: a multivariate approach using hand preference and hand performance measures. *Neuropsychiatry Neuropsychol Behav Neurol.* 2001 Jul-Sep;14(3):144-52. PMID: 11513097.
- de Vareilles H, Rivière D, Sun ZY, Fischer C, Leroy F, Neumane S, Stopar N, Eijssermans R, Ballu M, Tataranno ML, Benders M, Mangin JF, Dubois J. Shape variability of the central sulcus in the developing brain: A longitudinal descriptive and predictive study in preterm infants. *Neuroimage.* 2022 May 1;251:118837. doi: 10.1016/j.neuroimage.2021.118837. Epub 2021 Dec 26. PMID: 34965455.
- Deaner RO. Distance running as an ideal domain for showing a sex difference in competitiveness. *Arch Sex Behav.* 2013 Apr;42(3):413-28. doi: 10.1007/s10508-012-9965-z. Epub 2012 Jun 15. PMID: 22700008.
- Delamarre A, Meissner WG. Epidemiology, environmental risk factors and genetics of Parkinson's disease. *Presse Med.* 2017 Mar;46(2 Pt 1):175-181. doi: 10.1016/j.lpm.2017.01.001. Epub 2017 Feb 8. PMID: 28189372.
- Delnooz CC, van de Warrenburg BP. Current and future medical treatment in primary dystonia. *Ther Adv Neurol Disord.* 2012 Jul;5(4):221-40. doi: 10.1177/1756285612447261. PMID: 22783371; PMCID: PMC3388529.
- Doll-Lee J, Passarotto E, Altenmüller E, Lee A. Gender Differences in Task Specific Dystonia: What Can we Learn from Musician's Dystonia? *Mov Disord Clin Pract.* 2024 May;11(5):526-533. doi: 10.1002/mdc3.14015. Epub 2024 Mar 12. PMID: 38469936; PMCID: PMC11078487.
- Driesen, Naomi R., and Naftali Raz. "The influence of sex, age, and handedness on corpus callosum morphology: A meta-analysis." *Psychobiology* 23.3 (1995): 240-247.
- Ejaz N, Hamada M, Diedrichsen J. Hand use predicts the structure of representations in sensorimotor cortex. *Nat Neurosci.* 2015 Jul;18(7):1034-40. doi: 10.1038/nn.4038. Epub 2015 Jun 1. PMID: 26030847.
- Elbert T, Candia V, Altenmüller E, Rau H, Sterr A, Rockstroh B, Pantev C, Taub E. Alteration of digital representations in somatosensory cortex in focal hand dystonia. *Neuroreport.* 1998 Nov 16;9(16):3571-5. doi: 10.1097/00001756-199811160-00006. PMID: 9858362.
- Enders L, Spector JT, Altenmüller E, Schmidt A, Klein C, Jabusch HC. Musician's dystonia and comorbid anxiety: two sides of one coin? *Mov Disord.* 2011 Feb 15;26(3):539-42. doi: 10.1002/mds.23607. Epub 2011 Mar 2. PMID: 21370273.
- Fagard J, Dahmen R. Cultural influences on the development of lateral preferences: a comparison between French and Tunisian children. *Laterality.* 2004 Jan;9(1):67-78. doi: 10.1080/13576500342000167. PMID: 15382731.
- Fahn S. Systemic therapy of dystonia. *Can J Neurol Sci.* 1987 Aug;14(3 Suppl):528-32. doi: 10.1017/s0317167100038051. PMID: 3315156.
- Frucht SJ. Embouchure dystonia: a video guide to diagnosis and evaluation. *J Clin Mov Disord.* 2016 Jun 18;3:10. doi: 10.1186/s40734-016-0035-x. PMID: 27330823; PMCID: PMC4912816.

- Frucht SJ. Focal task-specific dystonia in musicians. *Adv Neurol.* 2004;94:225-30. PMID: 14509677.
- Frucht SJ. Focal task-specific dystonia of the musicians' hand--a practical approach for the clinician. *J Hand Ther.* 2009 Apr-Jun;22(2):136-42; quiz 143. doi: 10.1016/j.jht.2008.11.006. Epub 2009 Mar 9. PMID: 19272752.
- Furuya S, Altenmüller E. Finger-specific loss of independent control of movements in musicians with focal dystonia. *Neuroscience.* 2013 Sep 5;247:152-63. doi: 10.1016/j.neuroscience.2013.05.025. Epub 2013 May 23. PMID: 23707706.
- Gazzaniga MS. Cerebral specialization and interhemispheric communication: does the corpus callosum enable the human condition? *Brain.* 2000 Jul;123 (Pt 7):1293-326. doi: 10.1093/brain/123.7.1293. PMID: 10869045.
- Ghika J, Regli F, Growdon JH. Sensory symptoms in cranial dystonia: a potential role in the etiology? *J Neurol Sci.* 1993 Jun;116(2):142-7. doi: 10.1016/0022-510x(93)90318-s. PMID: 8336160.
- Gordon EM, Chauvin RJ, Van AN, Rajesh A, Nielsen A, Newbold DJ, Lynch CJ, Seider NA, Krimmel SR, Scheidter KM, Monk J, Miller RL, Metoki A, Montez DF, Zheng A, Elbau I, Madison T, Nishino T, Myers MJ, Kaplan S, Badke D'Andrea C, Demeter DV, Feigelis M, Ramirez JSB, Xu T, Barch DM, Smyser CD, Rogers CE, Zimmermann J, Botteron KN, Pruett JR, Willie JT, Brunner P, Shimony JS, Kay BP, Marek S, Norris SA, Gratton C, Sylvester CM, Power JD, Liston C, Greene DJ, Roland JL, Petersen SE, Raichle ME, Laumann TO, Fair DA, Dosenbach NUF. A somato-cognitive action network alternates with effector regions in motor cortex. *Nature.* 2023 May;617(7960):351-359. doi: 10.1038/s41586-023-05964-2. Epub 2023 Apr 19. PMID: 37076628; PMCID: PMC10172144.
- Gorynia I, Egenter D. Intermanual coordination in relation to handedness, familial sinistrality and lateral preferences. *Cortex.* 2000 Feb;36(1):1-18. doi: 10.1016/s0010-9452(08)70832-3. Erratum in: *Cortex* 2000 Dec;36(5):754. PMID: 10728893.
- Götestam KO. Lefthandedness among students of architecture and music. *Percept Mot Skills.* 1990 Jun;70(3 Pt 2):1323-7; discussion 1345-6. doi: 10.2466/pms.1990.70.3c.1323. PMID: 2288579.
- Grütz K, Klein C. Dystonia updates: definition, nomenclature, clinical classification, and etiology. *J Neural Transm (Vienna).* 2021 Apr;128(4):395-404. doi: 10.1007/s00702-021-02314-2. Epub 2021 Feb 19. PMID: 33604773; PMCID: PMC8099848.
- Guadalupe T, Mathias SR, vanErp TGM, Whelan CD, Zwiers MP, Abe Y, Abramovic L, Agartz I, Andreassen OA, Arias-Vásquez A, Aribisala BS, Armstrong NJ, Arolt V, Artiges E, Ayesa-Arriola R, Baboyan VG, Banaschewski T, Barker G, Bastin ME, Baune BT, Blangero J, Bokde ALW, Boedhoe PSW, Bose A, Brem S, Brodaty H, Bromberg U, Brooks S, Büchel C, Buitelaar J, Calhoun VD, Cannon DM, Cattrell A, Cheng Y, Conrod PJ, Conzelmann A, Corvin A, Crespo-Facorro B, Crivello F, Dannlowski U, de Zubicaray GI, de Zwarte SMC, Deary IJ, Desrivières S, Doan NT, Donohoe G, Dørum ES, Ehrlich S, Espeseth T, Fernández G, Flor H, Fouche JP, Frouin V, Fukunaga M, Gallinat J, Garavan H, Gill M, Suarez AG, Gowland P, Grabe HJ, Grotegerd D, Gruber O, Hagenaars S, Hashimoto R, Hauser TU, Heinz A, Hibar DP, Hoekstra PJ, Hoogman M, Howells FM, Hu H, Hulshoff Pol HE,

- Huysen C, Ittermann B, Jahanshad N, Jönsson EG, Jurk S, Kahn RS, Kelly S, Kraemer B, Kugel H, Kwon JS, Lemaitre H, Lesch KP, Lochner C, Luciano M, Marquand AF, Martin NG, Martínez-Zalacáin I, Martinot JL, Mataix-Cols D, Mather K, McDonald C, McMahon KL, Medland SE, Menchón JM, Morris DW, Mothersill O, Maniega SM, Mwangi B, Nakamae T, Nakao T, Narayanaswamy JC, Nees F, Nordvik JE, Onnink AMH, Opel N, Ophoff R, Paillère Martinot ML, Papadopoulos Orfanos D, Pauli P, Paus T, Poustka L, Reddy JY, Renteria ME, Roiz-Santiáñez R, Roos A, Royle NA, Sachdev P, Sánchez-Juan P, Schmaal L, Schumann G, Shumskaya E, Smolka MN, Soares JC, Soriano-Mas C, Stein DJ, Strike LT, Toro R, Turner JA, Tzourio-Mazoyer N, Uhlmann A, Hernández MV, van den Heuvel OA, van der Meer D, van Haren NEM, Veltman DJ, Venkatasubramanian G, Vetter NC, Vuletic D, Walitza S, Walter H, Walton E, Wang Z, Wardlaw J, Wen W, Westlye LT, Whelan R, Wittfeld K, Wolfers T, Wright MJ, Xu J, Xu X, Yun JY, Zhao J, Franke B, Thompson PM, Glahn DC, Mazoyer B, Fisher SE, Francks C. Human subcortical brain asymmetries in 15,847 people worldwide reveal effects of age and sex. *Brain Imaging Behav.* 2017 Oct;11(5):1497-1514. doi: 10.1007/s11682-016-9629-z. PMID: 27738994; PMCID: PMC5540813.
- Gupta N, Pandey S. Treatment of focal hand dystonia: current status. *Neurol Sci.* 2021 Sep;42(9):3561-3584. doi: 10.1007/s10072-021-05432-7. Epub 2021 Jul 2. PMID: 34213695.
- Habib M, Gayraud D, Oliva A, Regis J, Salamon G, Khalil R. Effects of handedness and sex on the morphology of the corpus callosum: a study with brain magnetic resonance imaging. *Brain Cogn.* 1991 May;16(1):41-61. doi: 10.1016/0278-2626(91)90084-1. PMID: 1854469.
- Hallett M. Pathophysiology of writer's cramp. *Hum Mov Sci.* 2006 Oct;25(4-5):454-63. doi: 10.1016/j.humov.2006.05.004. Epub 2006 Jul 21. PMID: 16859794.
- Hamano T, Kaji R, Katayama M, Kubori T, Ikeda A, Shibasaki H, Kimura J. Abnormal contingent negative variation in writer's cramp. *Clin Neurophysiol.* 1999 Mar;110(3):508-15. doi: 10.1016/s1388-2457(98)00045-5. PMID: 10363774.
- Hassler M, Gupta D. Functional brain organization, handedness, and immune vulnerability in musicians and non-musicians. *Neuropsychologia.* 1993 Jul;31(7):655-60. doi: 10.1016/0028-3932(93)90137-o. PMID: 8371839.
- Hausmann M, Güntürkün O. Steroid fluctuations modify functional cerebral asymmetries: the hypothesis of progesterone-mediated interhemispheric decoupling. *Neuropsychologia.* 2000;38(10):1362-74. doi: 10.1016/s0028-3932(00)00045-2. PMID: 10869579.
- Hausmann M. Why sex hormones matter for neuroscience: A very short review on sex, sex hormones, and functional brain asymmetries. *J Neurosci Res.* 2017 Jan 2;95(1-2):40-49. doi: 10.1002/jnr.23857. PMID: 27870404.
- Hellige, J. B. A Review of Hemispheric Asymmetry: What's Right and What's Left. *J Cogn Neurosci.* 1994 Spring;6(2):183-5. doi: 10.1162/jocn.1994.6.2.183. PMID: 23962372

- Herrington TM, Cheng JJ, Eskandar EN. Mechanisms of deep brain stimulation. *J Neurophysiol.* 2016 Jan 1;115(1):19-38. doi: 10.1152/jn.00281.2015. Epub 2015 Oct 28. Erratum in: *J Neurophysiol.* 2020 Mar 1;123(3):1277. doi: 10.1152/z9k-5403-corr.2020. PMID: 26510756; PMCID: PMC4760496.
- Hodgetts S, Hausmann M. The neuromodulatory effects of sex hormones on functional cerebral asymmetries and cognitive control: an update. *Z Neuropsychol* 29. 2018. <https://doi.org/10.1024/1016-264X/a000224>.
- Hodgetts S, Hausmann M. Sex/Gender Differences in Brain Lateralisation and Connectivity. *Curr Top Behav Neurosci.* 2023;62:71-99. doi: 10.1007/7854_2022_303. PMID: 35243604.
- Hogg E, Wertheimer J, Graner S, Tagliati M. Deep Brain Stimulation and Nonmotor Symptoms. *Int Rev Neurobiol.* 2017;134:1045-1089. doi: 10.1016/bs.irn.2017.05.022. Epub 2017 Jul 3. PMID: 28805564.
- Ingalhalikar M, Smith A, Parker D, Satterthwaite TD, Elliott MA, Ruparel K, Hakonarson H, Gur RE, Gur RC, Verma R. Sex differences in the structural connectome of the human brain. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2014 Jan 14;111(2):823-8. doi: 10.1073/pnas.1316909110. Epub 2013 Dec 2. PMID: 24297904; PMCID: PMC3896179.
- Ioannou CI, Furuya S, Altenmüller E. The impact of stress on motor performance in skilled musicians suffering from focal dystonia: Physiological and psychological characteristics. *Neuropsychologia.* 2016 May;85:226-36. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2016.03.029. Epub 2016 Mar 29. PMID: 27033741.
- Ip C. W. et al., Dystonie, S1-Leitlinie, 2021, in: Deutsche Gesellschaft für Neurologie (Hrsg.), Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie. Online: www.dgn.org/leitlinien. Letzter Zugriff: 10.02.2025.
- Jabusch HC, Zschucke D, Schmidt A, Schuele S, Altenmüller E. Focal dystonia in musicians: treatment strategies and long-term outcome in 144 patients. *Mov Disord.* 2005 Dec;20(12):1623-6. doi: 10.1002/mds.20631. PMID: 16078237.
- Jäncke L, Baumann S, Koeneke S, Meyer M, Laeng B, Peters M, Lutz K. Neural control of playing a reversed piano: empirical evidence for an unusual cortical organization of musical functions. *Neuroreport.* 2006 Mar 20;17(4):447-51. doi: 10.1097/01.wnr.0000204978.91253.33. PMID: 16514374.
- Jankovic J, Ashoori A. Movement disorders in musicians. *Mov Disord.* 2008 Oct 30;23(14):1957-65. doi: 10.1002/mds.22255. PMID: 18785647.
- Jankovic J. Treatment of dystonia. *Lancet Neurol.* 2006 Oct;5(10):864-72. doi: 10.1016/S1474-4422(06)70574-9. PMID: 16987733.
- Kilshaw D, Annett M. Right- and left-hand skill I: Effects of age, sex and hand preference showing superior skill in left-handers. *Br J Psychol.* 1983 May;74 (Pt 2):253-68. doi: 10.1111/j.2044-8295.1983.tb01861.x. PMID: 6871578.
- Klein C, Fahn S. Translation of Oppenheim's 1911 paper on dystonia. *Mov Disord.* 2013 Jun 15;28(7):851-62. doi: 10.1002/mds.25546. PMID: 23893442.
- Knecht S, Dräger B, Deppe M, Bobe L, Lohmann H, Flöel A, Ringelstein EB, Henningsen H. Handedness and hemispheric language dominance in healthy humans. *Brain.* 2000 Dec;123 Pt 12:2512-8. doi: 10.1093/brain/123.12.2512. PMID: 11099452.

- Kopiez R, Galley N, Lee JI. The advantage of a decreasing right-hand superiority: the influence of laterality on a selected musical skill (sight reading achievement). *Neuropsychologia*. 2006;44(7):1079-87. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2005.10.023. PMID: 16321405.
- Kopiez R, Galley N, Lehmann AC. The relation between lateralisation, early start of training, and amount of practice in musicians: a contribution to the problem of handedness classification. *Laterality*. 2010 Jul;15(4):385-414. doi: 10.1080/13576500902885975. Epub 2009 May 21. PMID: 19462271.
- Kopiez, R., Jabusch, H. C., Galley, N., Homann, J. C., Lehmann, A. C., & Altenmueller, E. (2012). No disadvantage for left-handed musicians: The relationship between handedness, perceived constraints and performance-related skills in string players and pianists. *Psychology of Music*, 40(3), 357-384.
- Lee, A., Heiß, P., Eich, C., Ioannou, I. C., & Altenmüller, E. (2017). Phenomenology, risk-factors and treatment outcome in 369 musicians with focal dystonia. Submitted to *Clin Mov Disord*.
- Li F. The exercise motivation scale: its multifaceted structure and construct validity. *J Appl Sport Psychol* 1999;11(1):97–115. <https://doi.org/10.1080/10413209908402953>.
- Lim VK, Bradshaw JL, Nicholls ME, Altenmüller E. Perceptual differences in sequential stimuli across patients with musician's and writer's cramp. *Mov Disord*. 2003 Nov;18(11):1286-93. doi: 10.1002/mds.10528. PMID: 14639669.
- Liu H, Stufflebeam SM, Sepulcre J, Hedden T, Buckner RL. Evidence from intrinsic activity that asymmetry of the human brain is controlled by multiple factors. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2009 Dec 1;106(48):20499-503. doi: 10.1073/pnas.0908073106. Epub 2009 Nov 16. PMID: 19918055; PMCID: PMC2777963.
- Lungu C, Karp BI, Alter K, Zolbrod R, Hallett M. Long-term follow-up of botulinum toxin therapy for focal hand dystonia: outcome at 10 years or more. *Mov Disord*. 2011 Mar;26(4):750-3. doi: 10.1002/mds.23504. Epub 2011 Feb 1. PMID: 21506157; PMCID: PMC3081109.
- Marsden CD, Marion MH, Quinn N. The treatment of severe dystonia in children and adults. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1984 Nov;47(11):1166-73. doi: 10.1136/jnnp.47.11.1166. PMID: 6502174; PMCID: PMC1028082.
- Meunier S, Garnero L, Ducorps A, Mazières L, Lehericy S, du Montcel ST, Renault B, Vidailhet M. Human brain mapping in dystonia reveals both endophenotypic traits and adaptive reorganization. *Ann Neurol*. 2001 Oct;50(4):521-7. doi: 10.1002/ana.1234. PMID: 11601503.
- Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG; PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med*. 2009 Jul 21;6(7):e1000097. doi: 10.1371/journal.pmed.1000097. Epub 2009 Jul 21. PMID: 19621072; PMCID: PMC2707599.
- Nastou E, Ocklenburg S, Hoogman M, Papadatou-Pastou M. Handedness in ADHD: Meta-Analyses. *Neuropsychol Rev*. 2022 Dec;32(4):877-892. doi: 10.1007/s11065-021-09530-3. Epub 2022 Jan 22. PMID: 35064524.
- Nelson AJ, Blake DT, Chen R. Digit-specific aberrations in the primary somatosensory cortex in Writer's cramp. *Ann Neurol*. 2009 Aug;66(2):146-54. doi: 10.1002/ana.21626. PMID: 19743446.

- Ni L, Zhou F, Qing Z, Zhang X, Li M, Zhu B, Zhang B, Xu Y. The Asymmetry of White Matter Hyperintensity Burden Between Hemispheres Is Associated With Intracranial Atherosclerotic Plaque Enhancement Grade. *Front Aging Neurosci.* 2020 Jun 23;12:163. doi: 10.3389/fnagi.2020.00163. PMID: 32655391; PMCID: PMC7324557.
- Niehaus L, von Alt-Stutterheim K, Rörich S, Meyer BU. Abnormal postexcitatory and interhemispheric motor cortex inhibition in writer's cramp. *J Neurol.* 2001 Jan;248(1):51-6. doi: 10.1007/s004150170269. PMID: 11266020.
- Nolet R. Virtuoso hands. *Clin Rheumatol.* 2013 Apr;32(4):435-8. doi: 10.1007/s10067-013-2186-6. Epub 2013 Feb 21. PMID: 23430117.
- Nowicka A, Fersten E. Sex-related differences in interhemispheric transmission time in the human brain. *Neuroreport.* 2001 Dec 21;12(18):4171-5. doi: 10.1097/00001756-200112210-00061. PMID: 11742259.
- Ocklenburg S, Güntürkün O. *The Lateralized Brain: The neuroscience and evolution of hemispheric asymmetries.* Elsevier; 2018.
- Ocklenburg S, Mundorf A, Gerrits R, Karlsson EM, Papadatou-Pastou M, Vingerhoets G. Clinical implications of brain asymmetries. *Nat Rev Neurol.* 2024 Jul;20(7):383-394. doi: 10.1038/s41582-024-00974-8. Epub 2024 May 23. PMID: 38783057.
- Oldfield RC. Handedness in muscians. *Br J Psychol.* 1969 Feb;60(1):91-9. doi: 10.1111/j.2044-8295.1969.tb01181.x. PMID: 5779028.
- Oldfield, Richard C. "The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory." *Neuropsychologia* 9.1 (1971): 97-113.
- Oppenheim, Hermann. "Über eine eigenartige Krampfkrankheit des kindlichen Alters (dysbasia, lordotica progressiva, dystonia musculorum deformans)." *Neurol Zentralbl* 30 (1911): 1090-1107.
- Pandya DN, Karol EA, Heilbronn D. The topographical distribution of interhemispheric projections in the corpus callosum of the rhesus monkey. *Brain Res.* 1971 Sep 10;32(1):31-43. doi: 10.1016/0006-8993(71)90153-3. PMID: 5000193.
- Papadatou-Pastou M, Martin M, Munafò MR, Jones GV. Sex differences in left-handedness: a meta-analysis of 144 studies. *Psychol Bull.* 2008 Sep;134(5):677-699. doi: 10.1037/a0012814. PMID: 18729568.
- Papadatou-Pastou M, Ntolka E, Schmitz J, Martin M, Munafò MR, Ocklenburg S, Paracchini S. Human handedness: A meta-analysis. *Psychol Bull.* 2020 Jun;146(6):481-524. doi: 10.1037/bul0000229. Epub 2020 Apr 2. PMID: 32237881.
- Passarotto E, Doll-Lee J, Altenmüller E, Lee A. Practice behaviors as trigger factor for the onset of Musicians' Dystonia. *J Neural Transm (Vienna).* 2023 Dec;130(12):1561-1569. doi: 10.1007/s00702-023-02689-4. Epub 2023 Aug 26. PMID: 37633870; PMCID: PMC10682052.
- Paulig J, Jabusch HC, Großbach M, Boulet L, Altenmüller E. Sensory trick phenomenon improves motor control in pianists with dystonia: prognostic value of glove-effect. *Front Psychol.* 2014 Sep 23;5:1012. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01012. PMID: 25295014; PMCID: PMC4172087.

- Peter M, Durning BM. Footedness of left- and right-handers. *Am J Psychol.* 1979 Mar;92(1):133-42. PMID: 484752.
- Petroff OA. GABA and glutamate in the human brain. *Neuroscientist.* 2002 Dec;8(6):562-73. doi: 10.1177/1073858402238515. PMID: 12467378.
- Piccirilli M, Palermo MT, Germani A, Bertoli ML, Ancarani V, Buratta L, Dioguardi MS, Scarponi L, D'Alessandro P. Music Playing and Interhemispheric Communication: Older Professional Musicians Outperform Age-Matched Non-Musicians in Fingertip Cross-Localization Test. *J Int Neuropsychol Soc.* 2021 Mar;27(3):282-292. doi: 10.1017/S1355617720000946. Epub 2020 Sep 24. PMID: 32967757.
- Pirazzini M, Rossetto O, Eleopra R, Montecucco C. Botulinum Neurotoxins: Biology, Pharmacology, and Toxicology. *Pharmacol Rev.* 2017 Apr;69(2):200-235. doi: 10.1124/pr.116.012658. PMID: 28356439; PMCID: PMC5394922.
- Pool EM, Rehme AK, Eickhoff SB, Fink GR, Grefkes C. Functional resting-state connectivity of the human motor network: differences between right- and left-handers. *Neuroimage.* 2015 Apr 1;109:298-306. doi: 10.1016/j.neuroimage.2015.01.034. Epub 2015 Jan 19. PMID: 25613438; PMCID: PMC4981638.
- Pool EM, Rehme AK, Fink GR, Eickhoff SB, Grefkes C. Handedness and effective connectivity of the motor system. *Neuroimage.* 2014 Oct 1;99:451-60. doi: 10.1016/j.neuroimage.2014.05.048. Epub 2014 May 23. PMID: 24862079; PMCID: PMC4982547.
- Porac C, Buller T. Overt attempts to change hand preference: a study of group and individual characteristics. *Can J Psychol.* 1990 Dec;44(4):512-21. doi: 10.1037/h0084268. PMID: 2292088.
- Prudente CN, Zetterberg L, Bring A, Bradnam L, Kimberley TJ. Systematic Review of Rehabilitation in Focal Dystonias: Classification and Recommendations. *Mov Disord Clin Pract.* 2018 Mar 13;5(3):237-245. doi: 10.1002/mdc3.12574. PMID: 30009212; PMCID: PMC6032834.
- Regard M, Cook ND, Wieser HG, Landis T. The dynamics of cerebral dominance during unilateral limbic seizures. *Brain.* 1994 Feb;117 (Pt 1):91-104. doi: 10.1093/brain/117.1.91. PMID: 8149216.
- Ridding MC, Brouwer B, Nordstrom MA. Reduced interhemispheric inhibition in musicians. *Exp Brain Res.* 2000 Jul;133(2):249-53. doi: 10.1007/s002210000428. PMID: 10968226.
- Ridding MC, Sheean G, Rothwell JC, Inzelberg R, Kujirai T. Changes in the balance between motor cortical excitation and inhibition in focal, task specific dystonia. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1995 Nov;59(5):493-8. doi: 10.1136/jnnp.59.5.493. PMID: 8530933; PMCID: PMC1073711.
- Rona RJ, Smeeton NC, Beech R, Barnett A, Sharland G. Anxiety and depression in mothers related to severe malformation of the heart of the child and foetus. *Acta Paediatr.* 1998 Feb;87(2):201-5. doi: 10.1080/08035259850157679. PMID: 9512209.
- Rosset-Llobet J, Fàbregas-Molas S, Pascual-Leone Á. Effect of Transcranial Direct Current Stimulation on Neurorehabilitation of Task-Specific Dystonia: A Double-Blind, Randomized Clinical Trial. *Med Probl Perform Art.* 2015 Sep;30(3):178-84. doi: 10.21091/mppa.2015.3033. PMID: 26395620.

- Rozanski VE, Rehfuss E, Bötzel K, Nowak D. Task-Specific Dystonia in Professional Musicians. A Systematic Review of the Importance of Intensive Playing as a Risk Factor. *Dtsch Arztebl Int.* 2015 Dec 21;112(51-52):871-7. doi: 10.3238/arztebl.2015.0871. PMID: 26900153; PMCID: PMC4736554.
- Ruth N, Müllensiefen D. Survival of musical activities. When do young people stop making music? *PLoS One.* 2021 Nov 24;16(11):e0259105. doi: 10.1371/journal.pone.0259105. PMID: 34818348; PMCID: PMC8612519.
- Sadnicka A, Teo JT, Kojovic M, Pareés I, Saifee TA, Kassavetis P, Schwingenschuh P, Katschnig-Winter P, Stamelou M, Mencacci NE, Rothwell JC, Edwards MJ, Bhatia KP. All in the blink of an eye: new insight into cerebellar and brainstem function in DYT1 and DYT6 dystonia. *Eur J Neurol.* 2015 May;22(5):762-7. doi: 10.1111/ene.12521. Epub 2014 Jul 18. PMID: 25039324.
- Sakai N, Liu MC, Su FC, Bishop AT, An KN. Hand span and digital motion on the keyboard: concerns of overuse syndrome in musicians. *J Hand Surg Am.* 2006 May-Jun;31(5):830-5. doi: 10.1016/j.jhssa.2006.02.009. PMID: 16713851.
- Sattler V, Dickler M, Michaud M, Meunier S, Simonetta-Moreau M. Does abnormal interhemispheric inhibition play a role in mirror dystonia? *Mov Disord.* 2014 May;29(6):787-96. doi: 10.1002/mds.25768. Epub 2013 Dec 18. PMID: 24352854.
- Schmidt A, Jabusch HC, Altenmüller E, Kasten M, Klein C. Challenges of making music: what causes musician's dystonia? *JAMA Neurol.* 2013 Nov;70(11):1456-9. doi: 10.1001/jamaneurol.2013.3931. PMID: 24217453.
- Schramm A, Reiners K, Naumann M. Complex mechanisms of sensory tricks in cervical dystonia. *Mov Disord.* 2004 Apr;19(4):452-8. doi: 10.1002/mds.10689. PMID: 15077244.
- Schuele S, Jabusch HC, Lederman RJ, Altenmüller E. Botulinum toxin injections in the treatment of musician's dystonia. *Neurology.* 2005 Jan 25;64(2):341-3. doi: 10.1212/01.WNL.0000149768.36634.92. PMID: 15668436.
- Sheehy MP, Rothwell JC, Marsden CD. Writer's cramp. *Adv Neurol.* 1988;50:457-72. PMID: 3400503.
- Singh M, Agrawal M. Deep Brain Stimulation for Tremor and Dystonia. *Neurol India.* 2020 Nov-Dec;68(Supplement):S187-S195. doi: 10.4103/0028-3886.302472. PMID: 33318349.
- Smith SS, Waterhouse BD, Chapin JK, Woodward DJ. Progesterone alters GABA and glutamate responsiveness: a possible mechanism for its anxiolytic action. *Brain Res.* 1987 Jan 6;400(2):353-9. doi: 10.1016/0006-8993(87)90634-2. PMID: 2880640.
- Sommer IE, Aleman A, Somers M, Boks MP, Kahn RS. Sex differences in handedness, asymmetry of the planum temporale and functional language lateralization. *Brain Res.* 2008 Apr 24;1206:76-88. doi: 10.1016/j.brainres.2008.01.003. Epub 2008 Jan 11. PMID: 18359009.
- Stahl CM, Frucht SJ. Focal task specific dystonia: a review and update. *J Neurol.* 2017 Jul;264(7):1536-1541. doi: 10.1007/s00415-016-8373-z. Epub 2016 Dec 30. PMID: 28039522; PMCID: PMC5502053.

- Steinberg R. Robert Schumann in der Heil- und Pflegeanstalt Eendenich bei Bonn [Robert Schumann in the psychiatric hospital in Eendenich near Bonn]. *Nervenarzt*. 2017 Nov;88(11):1298-1313. German. doi: 10.1007/s00115-016-0173-2. PMID: 27456194.
- Taub E, Miller NE, Novack TA, Cook EW 3rd, Fleming WC, Nepomuceno CS, Connell JS, Crago JE. Technique to improve chronic motor deficit after stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 1993 Apr;74(4):347-54. PMID: 8466415.
- Tempel LW, Perlmutter JS. Abnormal vibration-induced cerebral blood flow responses in idiopathic dystonia. *Brain*. 1990 Jun;113 (Pt 3):691-707. doi: 10.1093/brain/113.3.691. PMID: 2364264.
- Tubiana R. Musician's focal dystonia. *Hand Clin*. 2003 May;19(2):303-8, vii. doi: 10.1016/s0749-0712(02)00099-9. PMID: 12852672.
- Van der Knaap LJ, van der Ham IJ. How does the corpus callosum mediate interhemispheric transfer? A review. *Behav Brain Res*. 2011 Sep 30;223(1):211-21. doi: 10.1016/j.bbr.2011.04.018. Epub 2011 Apr 21. PMID: 21530590.
- Vidailhet M, Vercueil L, Houeto JL, Krystkowiak P, Benabid AL, Cornu P, Lagrange C, Tézenas du Montcel S, Dormont D, Grand S, Blond S, Detante O, Pillon B, Ardouin C, Agid Y, Destée A, Pollak P; French Stimulation du Pallidum Interne dans la Dystonie (SPIDY) Study Group. Bilateral deep-brain stimulation of the globus pallidus in primary generalized dystonia. *N Engl J Med*. 2005 Feb 3;352(5):459-67. doi: 10.1056/NEJMoa042187. PMID: 15689584.
- Witelson SF. The brain connection: the corpus callosum is larger in left-handers. *Science*. 1985 Aug 16;229(4714):665-8. doi: 10.1126/science.4023705. PMID: 4023705.
- Yablon SA, Brashear A, Gordon MF, Elovic EP, Turkel CC, Daggett S, Liu J, Brin MF. Formation of neutralizing antibodies in patients receiving botulinum toxin type A for treatment of poststroke spasticity: a pooled-data analysis of three clinical trials. *Clin Ther*. 2007 Apr;29(4):683-90. doi: 10.1016/j.clinthera.2007.04.015. PMID: 17617291.
- Yazgan MY, Wexler BE, Kinsbourne M, Peterson B, Leckman JF. Functional significance of individual variations in callosal area. *Neuropsychologia*. 1995 Jun;33(6):769-79. doi: 10.1016/0028-3932(95)00018-x. PMID: 7675166.
- Zakin E, Simpson DM. Botulinum Toxin Therapy in Writer's Cramp and Musician's Dystonia. *Toxins (Basel)*. 2021 Dec 14;13(12):899. doi: 10.3390/toxins13120899. PMID: 34941736; PMCID: PMC8708945.

Internetverzeichnis

PubMed. National Library of Medicine, National Institutes of Health, 2023, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>. Letzter Zugriff: 12.02.2025.

Google Scholar. Google, 2023, <https://scholar.google.com/>. Letzter Zugriff: 12.02.2025.

Covidence. Covidence, n.d., <https://www.covidence.org/>. Letzter Zugriff: 13.02.2025.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019, World Population Prospects 2019. <https://www.un.org/development/desa/pd/news/world-population-prospects-2019-0>. Letzter Zugriff: 05.03.2022.

PROSPERO. International prospective register of systematic reviews, National Institute, n.d., for Health and Care Research, <https://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO/>. Letzter Zugriff: 07.12.2021.

6 Anhang

Eingeschlossene Studien zum Musikerkrampf

1. Abbruzzese G, Marchese R, Buccolieri A, Gasparetto B, Trompetto C. Abnormalities of sensorimotor integration in focal dystonia: a transcranial magnetic stimulation study. *Brain*. 2001 Mar;124(Pt 3):537-45. doi: 10.1093/brain/124.3.537. PMID: 11222454.
2. Ackermann B, Altenmüller E. The development and use of an anatomy-based re-training program (MusAARP) to assess and treat focal hand dystonia in musicians-A pilot study. *J Hand Ther*. 2021 Apr-Jun;34(2):309-314. doi: 10.1016/j.jht.2021.05.007. Epub 2021 May 28. PMID: 34176657.
3. Asahi T, Taira T, Ikeda K, Yamamoto J, Sato S. Full recovery from drummer's dystonia with foot and arm symptoms after stereotactic ventro-oral thalamotomy: a case report. *Acta Neurochir (Wien)*. 2018 Apr;160(4):835-838. doi: 10.1007/s00701-018-3480-5. Epub 2018 Feb 8. PMID: 29423776.
4. Bäumer T, Schmidt A, Heldmann M, Landwehr M, Simmer A, Tönniges D, Münte T, Lohmann K, Altenmüller E, Klein C, Münchau A. Abnormal interhemispheric inhibition in musician's dystonia - Trait or state? *Parkinsonism Relat Disord*. 2016 Apr;25:33-8. doi: 10.1016/j.parkreldis.2016.02.018. Epub 2016 Feb 20. PMID: 26923523; PMCID: PMC6149539.
5. Beck S, Houdayer E, Richardson SP, Hallett M. The role of inhibition from the left dorsal premotor cortex in right-sided focal hand dystonia. *Brain Stimul*. 2009 Oct;2(4):208-14. doi: 10.1016/j.brs.2009.03.004. Epub 2009 May 3. PMID: 20633420; PMCID: PMC3787900.
6. Beck S, Richardson SP, Shamim EA, Dang N, Schubert M, Hallett M. Short intracortical and surround inhibition are selectively reduced during movement initiation in focal hand dystonia. *J Neurosci*. 2008 Oct 8;28(41):10363-9. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3564-08.2008. PMID: 18842895; PMCID: PMC4757491.
7. Beck S, Shamim EA, Richardson SP, Schubert M, Hallett M. Inter-hemispheric inhibition is impaired in mirror dystonia. *Eur J Neurosci*. 2009 Apr;29(8):1634-40. doi: 10.1111/j.1460-9568.2009.06710.x. PMID: 19419426; PMCID: PMC2770695.
8. Betti S, Spoto A, Castiello U, Sartori L. Testing rTMS-Induced Neuroplasticity: A Single Case Study of Focal Hand Dystonia. *Neural Plast*. 2018 May 30;2018:6464896. doi: 10.1155/2018/6464896. PMID: 30002674; PMCID: PMC5998194.
9. Blood AJ, Flaherty AW, Choi JK, Hochberg FH, Greve DN, Bonmassar G, Rosen BR, Jenkins BG. Basal ganglia activity remains elevated after movement in focal hand dystonia. *Ann Neurol*. 2004 May;55(5):744-8. doi: 10.1002/ana.20108. PMID: 15122718.
10. Borich M, Arora S, Kimberley TJ. Lasting effects of repeated rTMS application in focal hand dystonia. *Restor Neurol Neurosci*. 2009;27(1):55-65. doi: 10.3233/RNN-2009-0461. PMID: 19164853; PMCID: PMC4456689.

11. Bradnam LV, Graetz LJ, McDonnell MN, Ridding MC. Anodal transcranial direct current stimulation to the cerebellum improves handwriting and cyclic drawing kinematics in focal hand dystonia. *Front Hum Neurosci*. 2015 May 18;9:286. doi: 10.3389/fnhum.2015.00286. PMID: 26042019; PMCID: PMC4435234.
12. Bravi R, Ioannou CI, Minciocchi D, Altenmüller E. Assessment of the effects of Kinesiotaping on musical motor performance in musicians suffering from focal hand dystonia: a pilot study. *Clin Rehabil*. 2019 Oct;33(10):1636-1648. doi: 10.1177/0269215519852408. Epub 2019 Jun 4. PMID: 31159569.
13. Bütefisch CM, Boroojerdi B, Chen R, Battaglia F, Hallett M. Task-dependent intracortical inhibition is impaired in focal hand dystonia. *Mov Disord*. 2005 May;20(5):545-51. doi: 10.1002/mds.20367. PMID: 15641012; PMCID: PMC1457024.
14. Butler K, Rosenkranz K Dr, Freeman J Professor. Task specific dystonia - a patients' perspective. *J Hand Ther*. 2021 Apr-Jun;34(2):200-207. doi: 10.1016/j.jht.2021.04.005. Epub 2021 Apr 14. PMID: 34016515.
15. Byl N, Wilson F, Merzenich M, Melnick M, Scott P, Oakes A, McKenzie A. Sensory dysfunction associated with repetitive strain injuries of tendinitis and focal hand dystonia: a comparative study. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1996 Apr;23(4):234-44. doi: 10.2519/jospt.1996.23.4.234. PMID: 8775368.
16. Byl N, Hamati D, Melnick M, Wilson F, McKenzie A. The sensory consequences of repetitive strain injury in musicians: focal dystonia of the hand. *J Back Musculoskeletal Rehabil*. 1996 Jan 1;7(1):27-39. doi: 10.3233/BMR-1996-7105. PMID: 24572553.
17. Byl NN, McKenzie A. Treatment effectiveness for patients with a history of repetitive hand use and focal hand dystonia: a planned, prospective follow-up study. *J Hand Ther*. 2000 Oct-Dec;13(4):289-301. doi: 10.1016/s0894-1130(00)80021-6. PMID: 11129254.
18. Byl NN, Nagarajan SS, Merzenich MM, Roberts T, McKenzie A. Correlation of clinical neuromusculoskeletal and central somatosensory performance: variability in controls and patients with severe and mild focal hand dystonia. *Neural Plast*. 2002;9(3):177-203. doi: 10.1155/NP.2002.177. PMID: 12757370; PMCID: PMC2565401.
19. Candia V, Schäfer T, Taub E, Rau H, Altenmüller E, Rockstroh B, Elbert T. Sensory motor retuning: a behavioral treatment for focal hand dystonia of pianists and guitarists. *Arch Phys Med Rehabil*. 2002 Oct;83(10):1342-8. doi: 10.1053/apmr.2002.35094. PMID: 12370865.
20. Candia V, Wienbruch C, Elbert T, Rockstroh B, Ray W. Effective behavioral treatment of focal hand dystonia in musicians alters somatosensory cortical organization. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2003 Jun 24;100(13):7942-6. doi: 10.1073/pnas.1231193100. Epub 2003 May 27. PMID: 12771383; PMCID: PMC164692.

21. Cheng FP, Eddy ML, Ruiz MH, Großbach M, Altenmüller EO. Sensory feedback - Dependent neural de-orchestration: The effect of altered sensory feedback on Musician's Dystonia. *Restor Neurol Neurosci*. 2016;34(1):55-65. doi: 10.3233/RNN-150554. PMID: 26638834.
22. Cheng FP, Großbach M, Altenmüller EO. Altered sensory feedbacks in pianist's dystonia: the altered auditory feedback paradigm and the glove effect. *Front Hum Neurosci*. 2013 Dec 17;7:868. doi: 10.3389/fnhum.2013.00868. PMID: 24381552; PMCID: PMC3865372.
23. Cohen LG, Hallett M. Hand cramps: clinical features and electromyographic patterns in a focal dystonia. *Neurology*. 1988 Jul;38(7):1005-12. doi: 10.1212/wnl.38.7.1005. PMID: 3386815.
24. de Lisle R, Speedy DB, Thompson J. Pianism retraining via video conferencing as a means of assisting recovery from focal dystonia: a case study. *Med Probl Perform Art*. 2010 Sep;25(3):126-9. PMID: 21120271.
25. Dillon JP, Higgins T, Curtin J. Focal dystonia in a professional musician. *Ir Med J*. 2003 Jun;96(6):182-3. PMID: 12926762.
26. Dolberg R, Hinkley LB, Honma S, Zhu Z, Findlay AM, Byl NN, Nagarajan SS. Amplitude and timing of somatosensory cortex activity in task-specific focal hand dystonia. *Clin Neurophysiol*. 2011 Dec;122(12):2441-51. doi: 10.1016/j.clinph.2011.05.020. Epub 2011 Jul 28. PMID: 21802357; PMCID: PMC3327722.
27. Egger K, Mueller J, Schocke M, Brenneis C, Rinnerthaler M, Seppi K, Trieb T, Wenning GK, Hallett M, Poewe W. Voxel based morphometry reveals specific gray matter changes in primary dystonia. *Mov Disord*. 2007 Aug 15;22(11):1538-42. doi: 10.1002/mds.21619. PMID: 17588241.
28. Elbert T, Candia V, Altenmüller E, Rau H, Sterr A, Rockstroh B, Pantev C, Taub E. Alteration of digital representations in somatosensory cortex in focal hand dystonia. *Neuroreport*. 1998 Nov 16;9(16):3571-5. doi: 10.1097/00001756-199811160-00006. PMID: 9858362.
29. Erro R, Hirschbichler ST, Ricciardi L, Rytterska A, Antelmi E, Ganos C, Cordivari C, Tinazzi M, Edwards MJ, Bhatia KP. Mental rotation and working memory in musicians' dystonia. *Brain Cogn*. 2016 Nov;109:124-129. doi: 10.1016/j.bandc.2016.09.008. Epub 2016 Sep 28. PMID: 27693997.
30. Furuya S, Altenmüller E. Finger-specific loss of independent control of movements in musicians with focal dystonia. *Neuroscience*. 2013 Sep 5;247:152-63. doi: 10.1016/j.neuroscience.2013.05.025. Epub 2013 May 23. PMID: 23707706.
31. Furuya S, Uehara K, Sakamoto T, Hanakawa T. Aberrant cortical excitability reflects the loss of hand dexterity in musician's dystonia. *J Physiol*. 2018 Jun;596(12):2397-2411. doi: 10.1113/JP275813. Epub 2018 Apr 25. PMID: 29577305; PMCID: PMC6002224.

32. Grafman J, Cohen LG, Hallett M. Is focal hand dystonia associated with psychopathology? *Mov Disord.* 1991;6(1):29-35. doi: 10.1002/mds.870060106. PMID: 2005919.
33. Granert O, Peller M, Jabusch HC, Altenmüller E, Siebner HR. Sensorimotor skills and focal dystonia are linked to putaminal grey-matter volume in pianists. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2011 Nov;82(11):1225-31. doi: 10.1136/jnnp.2011.245811. Epub 2011 Jun 24. PMID: 21705464.
34. Hinkley LB, Dolberg R, Honma S, Findlay A, Byl NN, Nagarajan SS. Aberrant Oscillatory Activity during Simple Movement in Task-Specific Focal Hand Dystonia. *Front Neurol.* 2012 Nov 28;3:165. doi: 10.3389/fneur.2012.00165. PMID: 23226140; PMCID: PMC3508423.
35. Hofmann A, Grossbach M, Baur V, Hermsdörfer J, Altenmüller E. Musician's dystonia is highly task specific: no strong evidence for everyday fine motor deficits in patients. *Med Probl Perform Art.* 2015 Mar;30(1):38-46. doi: 10.21091/mppa.2015.1006. PMID: 25743605.
36. Horisawa S, Goto S, Nakajima T, Kawamata T, Taira T. Bilateral Stereotactic Thalamotomy for Bilateral Musician's Hand Dystonia. *World Neurosurg.* 2016 Aug;92:585.e21-585.e25. doi: 10.1016/j.wneu.2016.05.017. Epub 2016 May 14. PMID: 27188636.
37. Horisawa S, Taira T, Goto S, Ochiai T, Nakajima T. Long-term improvement of musician's dystonia after stereotactic ventro-oral thalamotomy. *Ann Neurol.* 2013 Nov;74(5):648-54. doi: 10.1002/ana.23877. Epub 2013 Jun 17. PMID: 23463596.
38. Horisawa S, Tamura N, Hayashi M, Matsuoka A, Hanada T, Kawamata T, Taira T. Gamma Knife Ventro-Oral Thalamotomy for Musician's Dystonia. *Mov Disord.* 2017 Jan;32(1):89-90. doi: 10.1002/mds.26726. Epub 2016 Jul 19. PMID: 27431379.
39. Horisawa S, Yamaguchi T, Abe K, Hori H, Sumi M, Konishi Y, Taira T. A single case of MRI-guided focused ultrasound ventro-oral thalamotomy for musician's dystonia. *J Neurosurg.* 2018 Sep 21;131(2):384-386. doi: 10.3171/2018.5.JNS173125. PMID: 30239322.
40. Houdayer E, Beck S, Karabanov A, Poston B, Hallett M. The differential modulation of the ventral premotor-motor interaction during movement initiation is deficient in patients with focal hand dystonia. *Eur J Neurosci.* 2012 Feb;35(3):478-85. doi: 10.1111/j.1460-9568.2011.07960.x. PMID: 22288483; PMCID: PMC3270366.
41. Ioannou CI, Furuya S, Altenmüller E. The impact of stress on motor performance in skilled musicians suffering from focal dystonia: Physiological and psychological characteristics. *Neuropsychologia.* 2016 May;85:226-36. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2016.03.029. Epub 2016 Mar 29. PMID: 27033741.
42. Ioannou CI, Furuya S, Altenmüller E. Objective Evaluation of Performance Stress in Musicians With Focal Hand Dystonia: A Case Series. *J Mot Behav.* 2016 Nov-Dec;48(6):562-572. doi: 10.1080/00222895.2016.1161590. Epub 2016 Aug 11. PMID: 27715491.

43. Ioannou CI, Klämpfl MK, Lobinger BH, Raab M, Altenmüller E. Psychodiagnostics: Classification of the Yips Phenomenon based on Musician's Dystonia. *Med Sci Sports Exerc.* 2018 Nov;50(11):2217-2225. doi: 10.1249/MSS.0000000000001696. PMID: 29933350.
44. Jabusch HC, Vauth H, Altenmüller E. Quantification of focal dystonia in pianists using scale analysis. *Mov Disord.* 2004 Feb;19(2):171-80. doi: 10.1002/mds.10671. PMID: 14978672.
45. Jankovic J, Shale H. Dystonia in musicians. *Semin Neurol.* 1989 Jun;9(2):131-5. doi: 10.1055/s-2008-1041316. PMID: 2602695.
46. Jin SH, Lin P, Auh S, Hallett M. Abnormal functional connectivity in focal hand dystonia: mutual information analysis in EEG. *Mov Disord.* 2011 Jun;26(7):1274-81. doi: 10.1002/mds.23675. Epub 2011 Apr 19. PMID: 21506166; PMCID: PMC3119738.
47. Kadota H, Nakajima Y, Miyazaki M, Sekiguchi H, Kohno Y, Amako M, Arino H, Nemoto K, Sakai N. An fMRI study of musicians with focal dystonia during tapping tasks. *J Neurol.* 2010 Jul;257(7):1092-8. doi: 10.1007/s00415-010-5468-9. Epub 2010 Feb 9. PMID: 20143109.
48. Kassavetis P, Sadnicka A, Saifee TA, Pareés I, Kojovic M, Bhatia KP, Rothwell JC, Edwards MJ. Reappraising the role of motor surround inhibition in dystonia. *J Neurol Sci.* 2018 Jul 15;390:178-183. doi: 10.1016/j.jns.2018.04.015. Epub 2018 Apr 12. PMID: 29801882.
49. Kimberley TJ, Borich MR, Arora S, Siebner HR. Multiple sessions of low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation in focal hand dystonia: clinical and physiological effects. *Restor Neurol Neurosci.* 2013;31(5):533-42. doi: 10.3233/RNN-120259. PMID: 23340117; PMCID: PMC5149409.
50. Kimberley TJ, Di Fabio RP. Visualizing the effects of rTMS in a patient sample: small N vs. group level analysis. *PLoS One.* 2010 Dec 8;5(12):e15155. doi: 10.1371/journal.pone.0015155. PMID: 21151629; PMCID: PMC2999570.
51. Kimberley TJ, Pickett KA. Differential activation in the primary motor cortex during individual digit movement in focal hand dystonia vs. healthy. *Restor Neurol Neurosci.* 2012;30(3):247-54. doi: 10.3233/RNN-2012-110183. PMID: 22451345.
52. Kita K, Furuya S, Osu R, Sakamoto T, Hanakawa T. Aberrant Cerebello-Cortical Connectivity in Pianists With Focal Task-Specific Dystonia. *Cereb Cortex.* 2021 Aug 26;31(10):4853-4863. doi: 10.1093/cercor/bhab127. PMID: 34013319.
53. Kita K, Rokicki J, Furuya S, Sakamoto T, Hanakawa T. Resting-state basal ganglia network codes a motor musical skill and its disruption From dystonia. *Mov Disord.* 2018 Sep;33(9):1472-1480. doi: 10.1002/mds.27448. Epub 2018 Sep 15. PMID: 30277603; PMCID: PMC6220822.
54. Kojovic M, Pareés I, Sadnicka A, Kassavetis P, Rubio-Agusti I, Saifee TA, Bologna M, Rothwell JC, Edwards MJ, Bhatia KP. The brighter side of music in dystonia. *Arch Neurol.* 2012 Jul;69(7):917-9. doi: 10.1001/archneurol.2012.33. PMID: 22431838.

55. Lee A, Furuya S, Karst M, Altenmüller E. Alteration in forward model prediction of sensory outcome of motor action in focal hand dystonia. *Front Hum Neurosci*. 2013 Jul 19;7:172. doi: 10.3389/fnhum.2013.00172. PMID: 23882198; PMCID: PMC3715741.
56. Lee A, Schoonderwaldt E, Chadde M, Altenmüller E. Analysis of dystonic tremor in musicians using empirical mode decomposition. *Clin Neurophysiol*. 2015 Jan;126(1):147-53. doi: 10.1016/j.clinph.2014.04.013. Epub 2014 May 2. PMID: 24845599.
57. Lim VK, Bradshaw JL, Nicholls ME, Altenmüller E. Abnormal sensorimotor processing in pianists with focal dystonia. *Adv Neurol*. 2004;94:267-73. PMID: 14509684.
58. Lim VK, Bradshaw JL, Nicholls ME, Altenmüller E. Enhanced P1-N1 auditory evoked potential in patients with musicians' cramp. *Ann N Y Acad Sci*. 2005 Dec;1060:349-59. doi: 10.1196/annals.1360.029. PMID: 16597786.
59. Lim VK, Bradshaw JL, Nicholls ME, Altenmüller E. Perceptual differences in sequential stimuli across patients with musician's and writer's cramp. *Mov Disord*. 2003 Nov;18(11):1286-93. doi: 10.1002/mds.10528. PMID: 14639669.
60. Marceglia S, Mrakic-Sposta S, Fumagalli M, Ferrucci R, Mameli F, Vergari M, Barbieri S, Priori A. Cathodal Transcranial Direct Current Stimulation Improves Focal Hand Dystonia in Musicians: A Two-Case Study. *Front Neurosci*. 2017 Sep 12;11:508. doi: 10.3389/fnins.2017.00508. PMID: 28955194; PMCID: PMC5601035.
61. McKenzie AL, Goldman S, Barrango C, Shrimme M, Wong T, Byl N. Differences in physical characteristics and response to rehabilitation for patients with hand dystonia: musicians' cramp compared to writers' cramp. *J Hand Ther*. 2009 Apr-Jun;22(2):172-81; quiz 182. doi: 10.1016/j.jht.2008.12.006. PMID: 19389604.
62. McKenzie AL, Nagarajan SS, Roberts TP, Merzenich MM, Byl NN. Somatosensory representation of the digits and clinical performance in patients with focal hand dystonia. *Am J Phys Med Rehabil*. 2003 Oct;82(10):737-49. doi: 10.1097/01.PHM.0000087458.32122.14. PMID: 14508403.
63. Meunier S, Russmann H, Shamim E, Lamy JC, Hallett M. Plasticity of cortical inhibition in dystonia is impaired after motor learning and paired-associative stimulation. *Eur J Neurosci*. 2012 Mar;35(6):975-86. doi: 10.1111/j.1460-9568.2012.08034.x. PMID: 22429246; PMCID: PMC3310890.
64. Moore RD, Gallea C, Horovitz SG, Hallett M. Individuated finger control in focal hand dystonia: an fMRI study. *Neuroimage*. 2012 Jul 16;61(4):823-31. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.03.066. Epub 2012 Mar 30. PMID: 22484405; PMCID: PMC3376234.
65. Newmark J, Hochberg FH. Isolated painless manual incoordination in 57 musicians. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1987 Mar;50(3):291-5. doi: 10.1136/jnnp.50.3.291. PMID: 3559610; PMCID: PMC1031793.

66. Nowak DA, Rosenkranz K, Topka H, Rothwell J. Disturbances of grip force behaviour in focal hand dystonia: evidence for a generalised impairment of sensory-motor integration? *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2005 Jul;76(7):953-9. doi: 10.1136/jnnp.2004.043943. PMID: 15965201; PMCID: PMC1739702.
67. Paulig J, Jabusch HC, Großbach M, Boulet L, Altenmüller E. Sensory trick phenomenon improves motor control in pianists with dystonia: prognostic value of glove-effect. *Front Psychol*. 2014 Sep 23;5:1012. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01012. PMID: 25295014; PMCID: PMC4172087.
68. Pujol J, Roset-Llobet J, Rosinés-Cubells D, Deus J, Narberhaus B, Valls-Solé J, Capdevila A, Pascual-Leone A. Brain cortical activation during guitar-induced hand dystonia studied by functional MRI. *Neuroimage*. 2000 Sep;12(3):257-67. doi: 10.1006/nimg.2000.0615. PMID: 10944408.
69. Richardson SP, Bliem B, Lomarev M, Shamim E, Dang N, Hallett M. Changes in short afferent inhibition during phasic movement in focal dystonia. *Muscle Nerve*. 2008 Mar;37(3):358-63. doi: 10.1002/mus.20943. PMID: 18061936.
70. Rosenkranz K, Altenmüller E, Siggelkow S, Dengler R. Alteration of sensorimotor integration in musician's cramp: impaired focusing of proprioception. *Clin Neurophysiol*. 2000 Nov;111(11):2040-5. doi: 10.1016/s1388-2457(00)00460-0. PMID: 11068240.
71. Rosenkranz K, Williamon A, Butler K, Cordivari C, Lees AJ, Rothwell JC. Pathophysiological differences between musician's dystonia and writer's cramp. *Brain*. 2005 Apr;128(Pt 4):918-31. doi: 10.1093/brain/awh402. Epub 2005 Jan 27. PMID: 15677703.
72. Rosset-Llobet J, Fàbregas-Molas S, Pascual-Leone Á. Effect of Transcranial Direct Current Stimulation on Neurorehabilitation of Task-Specific Dystonia: A Double-Blind, Randomized Clinical Trial. *Med Probl Perform Art*. 2015 Sep;30(3):178-84. doi: 10.21091/mppa.2015.3033. PMID: 26395620.
73. Ruiz MH, Senghaas P, Grossbach M, Jabusch HC, Bangert M, Hummel F, Gerloff C, Altenmüller E. Defective inhibition and inter-regional phase synchronization in pianists with musician's dystonia: an EEG study. *Hum Brain Mapp*. 2009 Aug;30(8):2689-700. doi: 10.1002/hbm.20700. PMID: 19117335; PMCID: PMC6870747.
74. Sadnicka A, Wiestler T, Butler K, Altenmüller E, Edwards MJ, Ejaz N, Diedrichsen J. Intact finger representation within primary sensorimotor cortex of musician's dystonia. *Brain*. 2023 Apr 19;146(4):1511-1522. doi: 10.1093/brain/awac356. PMID: 36170332; PMCID: PMC10115231.
75. Schabrun SM, Stinear CM, Byblow WD, Ridding MC. Normalizing motor cortex representations in focal hand dystonia. *Cereb Cortex*. 2009 Sep;19(9):1968-77. doi: 10.1093/cercor/bhn224. Epub 2008 Dec 12. PMID: 19074753.

76. Schirinzi T, Scalise S, Di Lazzaro G, Cerroni R, Chiaravalloti A, Lavoretti Figueras P, Pierantozzi M, Pisani A, Stefani A. Dopaminergic involvement in a drummer with focal dystonia: A case study. *Clin Neurol Neurosurg.* 2018 Mar;166:54-55. doi: 10.1016/j.clineuro.2018.01.023. Epub 2018 Jan 31. Erratum in: *Clin Neurol Neurosurg.* 2018 May;168:179. doi: 10.1016/j.clineuro.2018.03.014. PMID: 29408773.
77. Schmidt A, Altenmüller E, Jabusch HC, Lee A, Wiegers K, Klein C, Lohmann K. The GAG deletion in Tor1A (DYT1) is a rare cause of complex musician's dystonia. *Parkinsonism Relat Disord.* 2012 Jun;18(5):690-1. doi: 10.1016/j.parkreldis.2011.12.008. Epub 2012 Jan 4. PMID: 22226333.
78. Schmidt A, Jabusch HC, Altenmüller E, Enders L, Saunders-Pullman R, Bressman SB, Münchau A, Klein C, Hagenah J. Phenotypic spectrum of musician's dystonia: a task-specific disorder? *Mov Disord.* 2011 Feb 15;26(3):546-9. doi: 10.1002/mds.23526. PMID: 21462264.
79. Schmidt A, Jabusch HC, Altenmüller E, Hagenah J, Brüggemann N, Hedrich K, Saunders-Pullman R, Bressman SB, Kramer PL, Klein C. Dominantly transmitted focal dystonia in families of patients with musician's cramp. *Neurology.* 2006 Aug 22;67(4):691-3. doi: 10.1212/01.wnl.0000230148.00035.f9. PMID: 16924027.
80. Schuele S, Lederman RJ. Long-term outcome of focal dystonia in string instrumentalists. *Mov Disord.* 2004 Jan;19(1):43-8. doi: 10.1002/mds.10647. PMID: 14743359.
81. Sheehy MP, Marsden CD. Writers' cramp-a focal dystonia. *Brain.* 1982 Sep;105 (Pt 3):461-80. doi: 10.1093/brain/105.3.461. PMID: 7104663.
82. Stinear CM, Byblow WD. Impaired modulation of intracortical inhibition in focal hand dystonia. *Cereb Cortex.* 2004 May;14(5):555-61. doi: 10.1093/cercor/bhh017. Epub 2004 Mar 28. PMID: 15054071.
83. Strübing F, Herrojo Ruiz M, Jabusch HC, Altenmüller E. Error monitoring is altered in musician's dystonia: evidence from ERP-based studies. *Ann N Y Acad Sci.* 2012 Apr;1252:192-9. doi: 10.1111/j.1749-6632.2011.06417.x. PMID: 22524359.
84. Takiyama K, Mugikura S, Furuya S. Impaired feedforward control of movements in pianists with focal dystonia. *Front Neurol.* 2022 Aug 12;13:983448. doi: 10.3389/fneur.2022.983448. PMID: 36034302; PMCID: PMC9413149.
85. Tamura Y, Matsushashi M, Lin P, Ou B, Vorbach S, Kakigi R, Hallett M. Impaired intracortical inhibition in the primary somatosensory cortex in focal hand dystonia. *Mov Disord.* 2008 Mar 15;23(4):558-65. doi: 10.1002/mds.21870. PMID: 18074393.
86. Tamura Y, Ueki Y, Lin P, Vorbach S, Mima T, Kakigi R, Hallett M. Disordered plasticity in the primary somatosensory cortex in focal hand dystonia. *Brain.* 2009 Mar;132(Pt 3):749-55. doi: 10.1093/brain/awn348. Epub 2009 Jan 16. PMID: 19151081; PMCID: PMC2724923.

-
87. Tinazzi M, Marotta A, Fasano A, Bove F, Bentivoglio AR, Squintani G, Pozzer L, Fiorio M. Aristotle's illusion reveals interdigit functional somatosensory alterations in focal hand dystonia. *Brain*. 2013 Mar;136(Pt 3):782-9. doi: 10.1093/brain/aws372. Epub 2013 Feb 11. PMID: 23404333.
 88. van der Steen MC, van Vugt FT, Keller PE, Altenmüller E. Basic timing abilities stay intact in patients with musician's dystonia. *PLoS One*. 2014 Mar 25;9(3):e92906. doi: 10.1371/journal.pone.0092906. PMID: 24667273; PMCID: PMC3965486.
 89. Wilson FR, Wagner C, Hömberg V. Biomechanical abnormalities in musicians with occupational cramp/focal dystonia. *J Hand Ther*. 1993 Oct-Dec;6(4):298-307. doi: 10.1016/s0894-1130(12)80331-0. PMID: 8124444.
 90. Worschech F, Großbach M, Bläsing B, Altenmüller E. Elevated Forearm Coactivation Levels and Higher Temporal Variability in String Players with Musicians' Dystonia During Demanding Playing Conditions. *Med Probl Perform Art*. 2020 Mar;35(1):19-27. doi: 10.21091/mppa.2020.1003. PMID: 32135001.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt an Herrn Prof. Dr. rer. nat. Markus Butz, der sehr unterstützend, begeisternd und motivierend den Weg meiner Promotion begleitete. Sowohl durch seine fachlichen als auch menschlichen Kompetenzen war es eine große Freude diese Arbeit zu erstellen. Durch seine lockere, aber auch inspirierende Art schaffte er die Möglichkeit, dass man sich frei und selbstständig wissenschaftlich entfalten und weiterentwickeln konnte.

Ebenso gilt mein Dank an Frau Dr. rer. nat. Marianne Tiuhonen. Während der Erstellung der Promotion half mir ihre Begeisterung für die Forschung und ihr Ideenreichtum enorm.

Ein besonderer Dank gilt an meine Eltern, Nilüfer und Omar Ouennane, und meinen Bruder, Anouar Ouennane, die sowohl während meiner gesamten schulischen Laufbahn, während des Studiums und während der Anfertigung meiner Promotion immer sehr unterstützend und motivierend an meiner Seite waren.